

**IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA PARA EL FONDO  
DE LOS TANQUES EN LA AMPLIACIÓN DE LA REFINERÍA BARRANCABERMEJA**

**JAIME ANTONIO MARTÍNEZ  
JOSÉ EDILBERTO RUANO**

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA  
GERENCIA DE PROYECTOS  
BOGOTÁ AGOSTO DE 2014**

## DEDICATORIAS

A Dios por darme la vida y todo lo que soy  
A mí querida y siempre amada esposa por ser parte de mi vida  
A mis padres y abuelos por brindarme su amor  
A mis hermanos y primos porque creyeron en mí  
A mis amigos que me dieron su sincera amistad  
Jaime Antonio

En primer lugar a Dios,  
por permitirnos cada día seguir creciendo  
como profesionales superando nuevos retos  
para alcanzar nuestras metas  
José Edilberto

## **AGRADECIMIENTO**

Jaime Martínez y José Ruano agradecemos a todas las personas que de una u otra manera nos brindaron su apoyo desinteresado en la realización de este proyecto, en especial a todos los docentes de la especialización y a la Universidad Piloto de Colombia.

## CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO.....	8
OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO .....	11
OBJETIVO GENERAL.....	11
OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	11
1. FORMULACIÓN.....	12
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.1.1 Antecedentes del problema.....	12
1.1.2 Árbol de problemas.....	14
1.1.3 Descripción problema principal a resolver.....	15
1.1.4 Árbol de objetivos .....	16
1.2 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN INDICANDO LA ARTERNATIVA SELECCIONADA.....	17
1.2.1 Identificación de acciones y alternativas .....	17
1.3.2 Descripción de la alternativa seleccionada y consideraciones para la selección.....	17
1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	18
1.4.1 Objetivo general .....	18
1.4.2 Objetivos específicos.....	18
1.5 MARCO METODOLÓGICO.....	19
1.5.1 Fuente de información.....	19
1.5.2 Tipos y métodos de investigación.....	19
1.5.3 Herramientas.....	20
1.5.4 Supuestos y restricciones.....	20
1.5.5 Entregables del trabajo de grado.....	20
2. ESTUDIO Y EVALUACIONES.....	22
2.1 ESTUDIO TÉCNICO .....	22
2.1.1 Descripción organización fuente del problema.....	22
2.1.2 Contexto de la institución/ organización donde se presenta la necesidad ..	23
2.1.3 Análisis y descripción del producto que se desea obtener con el proyecto	27

2.1.4	Estado del arte (marco teórico relacionado con el producto).....	27
2.1.5	Aplicación del estado del arte-diseño conceptual de la solución .....	30
2.2	ESTUDIO DE MERCADO .....	36
2.3	SOSTENIBILIDAD .....	36
2.3.1	Social .....	36
2.3.2	Ambiental .....	37
2.3.3	Económica.....	41
2.3.4	Riesgos .....	42
2.3.5	Matriz resumen de sostenibilidad .....	50
2.4	ECONÓMICO FINANCIERO .....	51
2.4.1	“Work Breakdown Structure” WBS/EDT. ....	51
2.4.2	Definición nivel EDT que identifica la cuenta de planeación y la cuenta control	52
2.4.3	Resource Breakdown Structure -ReBS- .....	52
2.4.4	Cost Breakdown Structure -CBS- .....	53
2.4.5	Presupuesto del caso de negocio y presupuesto del proyecto.....	53
2.4.6	Fuente y usos de fondos .....	57
2.4.7	Flujo de caja del proyecto.....	57
	A continuación en la Tabla 10 se presenta el flujo de caja del proyecto obtenido de la programación del Project. ....	57
2.4.8	Evaluación financiera .....	59
2.4.9	Análisis de sensibilidad .....	60
3.	PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO. ....	61
3.1	PROGRAMACIÓN.....	61
3.1.1	Presupuesto- Línea base.....	65
3.1.2	Indicadores.....	66
3.1.3	Riesgos principales con impacto, probabilidad de ocurrencia y acciones	68
3.1.4	Organización .....	69
3.2	PLAN DE GESTIÓN DEL PROYECTO, PLANES SUBSIDIARIOS, PLANES DE ÁREAS COMPLEMENTARIAS DEL CONOCIMIENTO Y PLAN DE SOSTENIBILIDAD .....	71
3.2.1	Plan de gestión del proyecto .....	72

3.2.2	Plan de gestión del alcance.....	76
3.2.3	Plan de gestión del cronograma .....	78
3.2.4	Plan de gestión de costos.....	79
3.2.5	Plan de gestión de calidad.....	80
3.2.6	Plan de gestión de la comunicación .....	82
3.2.7	Plan de gestión del riesgo .....	83
3.2.8	Plan de gestión de la adquisiciones.....	86
BIBLIOGRAFÍA.....		94

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de impacto, indicador y mecanismo de seguimiento. ....	39
Tabla 2. Estadística de los empleos generados.....	41
Tabla 3. Involucrados en los riesgos.....	42
Tabla 4. Matriz de dependencia-influencia .....	43
Tabla 5. Matriz de registro de riesgos.....	45
Tabla 6. Matriz del análisis cualitativo y cuantitativo .....	47
Tabla 7. Tabla de Probabilidad e Impacto.....	49
Tabla 8. Matriz resumen de sostenibilidad.....	50
Tabla 9. Presupuesto del caso de negocio .....	54
Tabla 10. Flujo de caja del proyecto .....	58
Tabla 11. Flujo de baja del caso de negocio para la evaluación financiera .....	59
Tabla 12. Flujo de caja del caso de negocio para el análisis de sensibilidad .....	60
Tabla 13. Actividades para la implementación del sistema de protección catódica.....	61
Tabla 14. Uso de recursos.....	64
Tabla 15. Presupuesto del proyecto.....	65
Tabla 16. Riesgos principales .....	68
Tabla 17. Matriz de responsabilidad “RACI” .....	70
Tabla 18. Matriz de los hitos del proyecto.....	73
Tabla 19. Fases del proyecto .....	74
Tabla 20. Lista de actividades y la dependencia .....	75



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Árbol de problemas .....	14
Figura 2. Árbol de objetivos .....	16
Figura 3. Mapa de proceso .....	25
Figura 4. Mapa estratégico .....	26
Figura 5. Ilustración del sistema de protección de corriente para un tanque .....	28
Figura 6. Ilustración malla anódica para un tanque .....	34
Figura 7. Flujo de entradas y salidas .....	38
Figura 8. Estructura de Desglose de Riesgos “ <i>Risk Breakdown Structure</i> ” -RiBS-. ....	44
Figura 9. Estructura de Desagregación del Trabajo a cuarto nivel “ <i>Work Breakdown Structure</i> ” .....	51
Figura 10. Estructura de Desagregación de los Recursos “ <i>Resource Breakdown Structure</i> ” .....	52
Figura 11. Estructura de Desagregación de los Costos “ <i>Cost Breakdown Structure</i> ”. ..	53
Figura 12. Presupuesto de las actividades a cuarto nivel de desagregación.....	54
Figura 13. Red del proyecto de implementación del sistema de protección catódica ...	62
Figura 14. Cronograma para la implementación del sistema de protección.....	63
Figura 15. Curva “S” de avance .....	66
Figura 16. Curva “S” presupuesto .....	67
Figura 17. Estructura Organizacional “ <i>Organization Breakdown Structure</i> -OBS-. ....	69

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. EDP (Estructura de Descomposición del Producto) .....	99
ANEXO B. EDT DEL PROYECTO: DESGLOSE PRINCIPAL .....	100
ANEXO C. PROJECT CHARTER .....	101
ANEXO D. PROJECT SCOPE STATEMENT .....	104
ANEXO E. REQUIREMENTS DOCUMENTATION .....	105

## **RESUMEN EJECUTIVO**

A continuación se presentará el proyecto para la implementación del sistema de protección contra la corrosión del fondo de los tanques que almacenará el crudo de petróleo extraído de los yacimientos y que posteriormente es procesado para la producción de combustibles. Esta técnica de protección contra la corrosión electroquímica llamada protección catódica consiste en proporcionar corriente a la estructura a proteger a través del electrolito o arena en contacto con la misma.

La protección catódica tiene la ventaja de alargar la vida útil de una estructura por muchos años contra los efectos de la corrosión metálica de una forma más económica y efectiva que otras técnicas de protección como pueden ser, el revestimiento o la selección de materiales más resistentes a la corrosión.

Gracias a los excelentes resultados que se ha tenido en anteriores proyectos de implementación de sistemas de protección catódica, como por ejemplo en la refinería de Cartagena; también serán implementados en los tanques que se construirán en la refinería de Barrancabermeja administrada por ECOPETROL la cual está en proceso de ampliación debido a la creciente demanda de hidrocarburos. Este suceso es una oportunidad de negocio debido a la necesidad de proteger los fondos de los tanques para evitar futuras catástrofes a la salud, al medio ambiente y la propiedad.

La dirección del proyecto para la implementación del sistema de protección catódica se alinea con las Objetivos de Desarrollo del Milenio específicamente con el objetivo 7 de garantizar la sostenibilidad del medio ambiente ya que ésta implementación reduce a un mínimo el desgaste de los materiales de los tanques (acero) por la acción de la corrosión electroquímica, logrando con este sistema alargar la vida útil de los depósitos de crudo para la operación de la refinería.

La implementación de la protección catódica se iniciará con la recolección de la información de las dimensiones y las variables de operación del tanque y también con las pruebas fisicoquímicas o agresividad de la arena que estará en contacto con el fondo del tanque para después realizar el diseño. Una vez se tenga el diseño aprobado, se continuará con el suministro de materiales y equipos los cuales harán parte del sistema; se sigue con la construcción y finalmente la puesta en marcha de cada sistema para cada tanque para verificar el correcto funcionamiento de protección.

## **INTRODUCCIÓN**

Para el desarrollo de este trabajo de grado, hemos realizado la fase de iniciación y planeación del proyecto para la implementación del sistema de protección catódica para el fondo de los tanques de almacenamiento de crudo correspondientes a la ampliación de la refinería de Barrancabermeja. Este es un proyecto que nos plantea diferentes retos y donde podemos aplicar todos los conceptos y habilidades que un proyecto requiere dentro del marco del PMI.

Aunque el proyecto no va a ser ejecutado, la planeación será desarrollada con todas las técnicas y habilidades propias de un proyecto real.

En el presente documento se desarrollará la formulación del problema, los estudios técnicos, evaluaciones y la planificación del proyecto de la implementación del sistema de protección catódica para los fondos de los tanques que almacena crudo los cuales serán construidos en el proceso de ampliación de la refinería de Barrancabermeja administrada por ECOPETROL.

## **OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO**

A continuación se presentan los objetivos del trabajo de grado:

### **OBJETIVO GENERAL**

Adquirir las habilidades, el conocimiento y la experiencia mediante la realización del trabajo de grado con el enfoque de la realización de un proyecto.

### **OBJETIVO ESPECÍFICOS**

A continuación se describe los objetivos específicos del trabajo de grado los cuales contribuirá a cumplir el objetivo general:

- Realizar la EDP del producto y determinar el alcance del proyecto.
- Realizar la EDT del proyecto y definir los entregables del proyecto.
- Realizar el trabajo de grado siguiendo los lineamientos aprendidos a lo largo de la especialización.

## **1. FORMULACIÓN**

Actualmente la refinería de Barrancabermeja cuenta con un factor de conversión del 76% orientada al tratamiento de crudos livianos y medianos. El proyecto de la ampliación de la refinería surge por la necesidad de cumplir con una de las metas del milenio, específicamente con el objetivo 7 que tiene que ver con garantizar la sostenibilidad ambiental, produciendo combustibles más limpios, de mejor calidad y reduciendo el agotamiento de los recursos naturales mediante el aumento del factor de conversión al 95%.

En el presente capítulos se describirá el planteamiento del problema con sus antecedentes, el árbol de problemas, la descripción problema a resolver y el árbol de objetivos.

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El planteamiento del problema se inicia con los antecedentes del problema, pasando por el análisis de involucrados, el árbol de problemas, descripción problema principal a resolver y finaliza con el árbol de objetivos.

#### **1.1.1 Antecedentes del problema**

El costo del fenómeno de la corrosión implica una parte importante del producto interno bruto (PIB) y ocurre en un amplio campo de ejemplos, que van desde la corrosión de una gran estructura metálica colocada en un medio agresivo, a la de los implantes metálicos colocados en el cuerpo humano.

Los últimos estudios llevados a cabo sobre el impacto económico de la corrosión muestran resultados alarmantes. De 1999 a 2001, Estados Unidos tuvo un total anual de costos directos de aproximadamente 276 mil millones de dólares, algo así como 3.1% del producto interno bruto (PIB) de ese país. De la misma manera, en Perú, de acuerdo con la empresa Tecnoquímica, en el año 2000 las pérdidas por corrosión representaron 8% del PIB, es decir, aproximadamente US\$ 1200 millones ([Orozco, Galván, Martínez, Ramírez y Fernández, 2007, p.1](#)).

En Colombia la cifra de los costos anuales es menor pero no menos importante de US\$ 8500 millones en comparación con Estados Unidos y mayor que Perú. Este costo representa 3% PIB ([INNOVA, 2011](#)).

Gran porcentaje de los impactos económicos de los fenómenos de la corrosión se presenta en el sector petrolero más específicamente de la corrosión electroquímica sobre los ductos enterrados o sumergidos y de tanques enterrados a nivel del suelo.

En el pasado esta técnica no era frecuentemente usada debido a la flexibilidad de la leyes colombiana en cuanto a los fenómenos de corrosión pero como se ha venido presentando los problemas de derrames por la falta de contención de la estructuras metálicas por la corrosión electroquímica; éstas leyes se ha endurecido y han exigido fuertemente la implementación de las técnicas de protección, por lo tanto se ha venido implementando cada vez más las técnica de protección contra la corrosión.

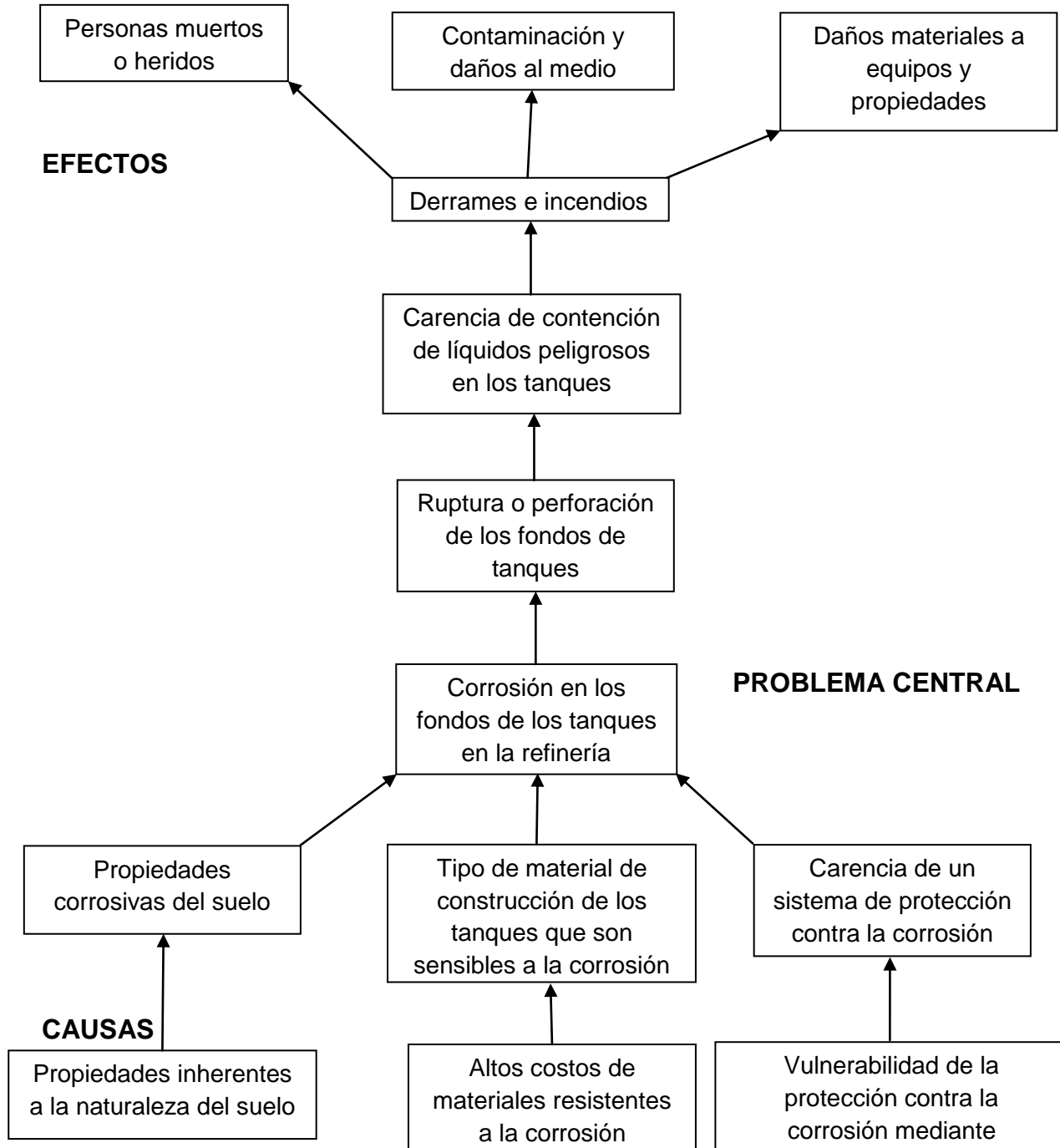
En nuestro caso el antecedente del problema sucede por la corrosión electroquímica sobre el fondo de los tanques que almacenan el crudo extraído de los diferentes yacimientos del municipio de Barrancabermeja y que serán construidos en el proceso de expansión de la refinería.



### 1.1.2 Árbol de problemas

A continuación en la se presenta el árbol de problemas:

Figura 1. Árbol de problemas



Fuente: Los autores

### 1.1.3 Descripción problema principal a resolver

El problema central consiste en la interacción de la estructura metálica del fondo de los tanques de almacenamiento de crudo con el medio ambiente, principalmente con la arena en contacto con el fondo; la cual propicia la corrosión electroquímica metal (acero) del fondo del tanque.

¿Qué es corrosión?

Una definición general de corrosión es: la degradación de un material por su interacción con el medio ambiente que lo rodea. Esta definición abarca todos los materiales, tanto los que ocurren naturalmente como los hechos por el hombre e incluye, plásticos, cerámicas y metales ([Peabody, 2001, p.1](#)).

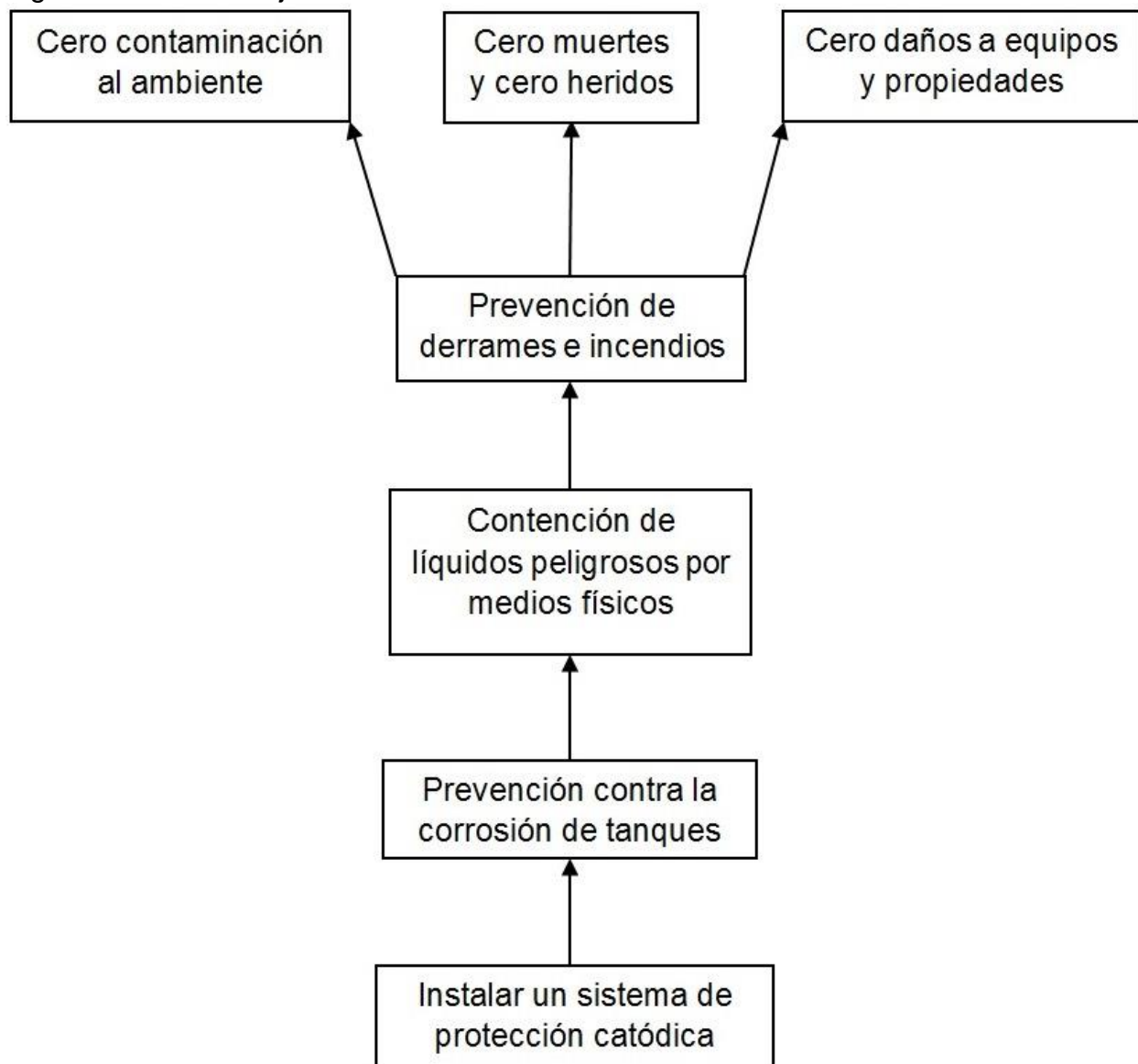
De acuerdo con el tipo de interacción la corrosión será química o electroquímica; la primera implica la reacción del metal con un medio no iónico y se presenta a elevadas temperaturas; la segunda involucra en forma simultánea un transporte de electricidad a través de un electrolito, generando una disminución espontánea en la energía de la celda o pila de corrosión, a éste grupo pertenecen la corrosión atmosférica, la corrosión en soluciones salinas, en agua de mar, en soluciones ácidas y la corrosión en suelos entre otras. En cualquiera de los casos se presenta una transformación del metal a su forma nativa como mineral. La corrosión en sentido más amplio es un fenómeno natural, por medio del cual los sistemas químicos expresan su tendencia hacia un estado de equilibrio estable ([Cantor y Pinzón, 1995, p.6](#)).

Una vez que la corrosión ha actuado sobre la estructura, ésta tiende a perder su rigidez y por ende su capacidad de contención de los líquidos combustibles contenidos, por lo cual es un riesgo alto por la alta peligrosidad sobre la salud de las personas, el medio ambiente y la propiedad.

#### 1.1.4 Árbol de objetivos

A continuación en la Figura 2 se presenta el árbol de objetivos:

Figura 2. Árbol de objetivos



Fuente: Los autores

## **1.2 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN INDICANDO LA ALTERNATIVA SELECCIONADA**

En la presente sección se describirá la identificación de acciones, de alternativas y la descripción general de la alternativa seleccionada.

### **1.2.1 Identificación de acciones y alternativas**

A continuación se describirá las acciones y alternativas de mitigación de la corrosión.

¿Cómo se mitiga la corrosión?

Los principales métodos para mitigar la corrosión de los tanques enterrados son:

- Los revestimientos
- La protección catódica.
- La protección anódica.
- Modificación del electrolito
- El cambio del tipo material (Polímeros, aceros inoxidables, etc.) de la estructura.

### **1.3.2 Descripción de la alternativa seleccionada y consideraciones para la selección**

Debido a la dificultad de revestir el fondo exterior de un tanque por la falta de adherencia del revestimiento con las características de la estructura del fondo, de lo inviable de utilizar la técnica de la protección anódica, de modificar el electrolito por la restricción de la norma y de utilizar otro tipo de material resistente a la corrosión por sus altos costos; se selecciona la protección catódica por su eficacia en proteger la estructura contra la corrosión y también como la alternativa más económicamente viable.

La protección catódica es la polarización catódica de todas las zonas con potenciales nobles (cátodos) hasta el potencial más activo sobre la superficie metálica. La protección catódica se alcanza convirtiendo la estructura a proteger en el cátodo de un circuito de corriente continua y sacrificando un segundo metal de menor valor económico conectado a la estructura a proteger. Se ajusta la circulación de corriente para asegurar que el potencial polarizado es al menos tan activo como el del sitio anódico más activo de la estructura ([NACE, 2000, P.91](#)).

## **1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

Después de seleccionar la mejor alternativa para la protección del fondo de los tanques contra la corrosión se presentan a continuación los objetivos del proyecto.

### **1.4.1 Objetivo general**

Implementar un sistema de protección catódica para el fondo de los tanques de crudo construidos en la ampliación de la refinería de Barrancabermeja.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

Cada uno de los objetivos específicos descritos a continuación, contribuirán a cumplir el objetivo general del proyecto.

- Determinar las variables físicas para el diseño del sistema de protección catódica de los fondos de los tanques de almacenamiento de crudo.
- Realizar el diseño del sistema de protección catódica para los fondos de los tanques.
- Suministrar los materiales y equipos para la instalación del sistema de protección catódica.

- Construcción del sistema de protección catódica.
- Puesta en marcha del sistema de protección catódica.
- Entrega del dossier de construcción del sistema de protección catódica para cada tanque

## **1.5 MARCO METODOLÓGICO**

A continuación se presentan las fuentes de información, tipos y métodos de investigación, herramientas, supuestos, restricciones y entregables del trabajo de grado.

### **1.5.1 Fuente de información**

Las fuentes de información se obtuvieron de las normas, estándares y prácticas recomendadas por la asociación nacional de ingeniería de la corrosión.

#### **NACE, NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS:**

- RP0193-01 External Cathodic Protection of On-Grade Carbon Steel Storage Tank Bottoms”
- TM-0497-2002, “Measurement Techniques Related to Criteria for Cathodic Protection on Underground or Submerged Metallic Piping Systems.”

### **1.5.2 Tipos y métodos de investigación**

- Determinación de las variables mediante la medición directa y la recolección de información para la realización del diseño, suministro de materiales, construcción y puesta en marcha del sistema.

### **1.5.3 Herramientas**

- Mediante software especializado para la simulación y diseños de los sistemas de protección catódica.
- Información de las normas internacionales para la aplicación de las prácticas o estándares recomendados.

### **1.5.4 Supuestos y restricciones**

Para la construcción del sistema de protección catódica existen las siguientes supuestos y restricciones del cumplimiento:

- Supuestos
  - No cambiará el alcance del proyecto.
  - Los recursos identificados del proyecto estarán disponible en todo momento.
  - Que los fondos sean aprobados y estén disponibles.
- Restricciones
  - El proyecto debe operar dentro de los fondos y recursos asignados aprobados
  - El equipo debe completar el proyecto dentro de las horas normales de trabajo, a excepción que se pruebe horas extras por retraso de las actividades.
  - Que la arena utilizada debajo del fondo del tanque tenga una baja resistividad y porcentaje de cloruros.
  - Que la arena utilizada debajo del fondo del tanque no presenta bacterias sulfato-reductoras.

### **1.5.5 Entregables del trabajo de grado**

- EDP (Estructura de descomposición del producto) del proyecto.

- Diseño del sistema de protección catódica para los fondos de los tanques de crudo. (Informe, hoja de cálculos y planos)
- Suministro de los materiales y equipos.
- Construcción del sistema de protección catódica.
- Puesta en marcha del sistema de protección catódica de los fondos de los tanques de crudo.
- Dossier de la instalación del sistema de protección catódica de los fondos de los tanques de crudo.
- Desarrollar la gerencia del proyecto.



## **2. ESTUDIO Y EVALUACIONES**

En esta sección se presentan el estudio técnico, el estudio del mercado, la sostenibilidad y el estudio económico financiero.

### **2.1 ESTUDIO TÉCNICO**

A continuación se presenta la fuente del problema en la organización, el contexto de la institución, el análisis, descripción del producto y el estado del arte.

#### **2.1.1 Descripción organización fuente del problema**

El desarrollo industrial del país durante los últimas décadas ha motivado la construcción e instalación de diferentes tipos de estructuras metálicas de las cuales por factores técnicos y ambientales un gran porcentaje son subterráneas; considerando que la corrosión suele ser relativamente alta en éste tipo de estructuras se hace vital la presencia de un control adecuado de la misma; dentro de los métodos utilizados para ello el más apropiado es la protección catódica ([Cantor y Pinzón, 1995, p.6](#)).

Actualmente la refinería de Barrancabermeja cuenta con un factor de conversión del 76% orientada al tratamiento de crudos livianos y medianos. El proyecto de la ampliación de la refinería surge por la necesidad de cumplir con una de las metas del milenio, particularmente con la que tiene que ver con la sostenibilidad ambiental, produciendo combustibles más limpios, de mejor calidad y reduciendo el agotamiento de los recursos naturales. Por la anterior razón se construirá los tanques de almacenamiento de los crudos del petróleo extraído de los diferentes yacimientos cercanos al municipio de Barrancabermeja para así poder cumplir con el tratamiento de los crudos y la conversión a combustibles y finalmente cumplir con una de las metas del milenio.

La interacción del fondo de estos tanques con el suelo y la carencia de un sistema de protección contra la corrosión, resultan en el deterioro de la estructura del fondo dañando la integridad de los materiales y por ende la pérdida de la contención del líquido combustible ocasionando daños a la salud, el medio ambiente y la propiedad.

### **2.1.2 Contexto de la institución/ organización donde se presenta la necesidad**

El complejo industrial de Barrancabermeja está localizado en la ciudad con el mismo nombre, en la región central de Colombia, a orillas del río Magdalena, la principal arteria fluvial del país. Ubicado en una región histórica por ser una de las primeras zonas en las que se inició la explotación petrolera a principios del siglo XX. Se inició las operaciones de refinación con unos alambiques traídos en 1922 desde Talara en el Perú. A partir de una capacidad instalada inicial de 1500 barriles por día se inició la construcción de esta inmensa infraestructura conocida hoy como la Gerencia Complejo Barrancabermeja de ECOPETROL. El Complejo se extiende en un área de 254 hectáreas, en las que se distribuyen más de cincuenta modernas plantas y unidades de proceso, tratamiento, servicios y control ambiental. Entre ellas están cinco unidades topping, cuatro unidades de ruptura catalítica, dos plantas de polietileno y plantas de alquilación, ácido sulfúrico, parafinas, aromáticos y plantas para el procesamiento de residuos. Cuenta además con facilidades auxiliares que son equipos y procedimientos no directamente involucrados con la refinación pero que adelantan funciones vitales para su operación. Tal es el caso de las calderas, la planta de hidrógeno, los sistemas de enfriamiento, los sistemas de recuperación de azufre y los sistemas de tratamiento de residuos o de control de la contaminación. La Gerencia Complejo Barrancabermeja tiene la responsabilidad de generar el 75 por ciento de la gasolina, combustóleo, ACPM y demás combustibles que el país requiere, así como el 70 por ciento de los productos petroquímicos que circulan en el mercado nacional ([ECOPETROL, 2012, p.1](#)).

- ❖ Misión, visión y valores: La misión de ECOPETROL Encontramos y convertimos fuentes de energía en valor para nuestros clientes y accionistas, asegurando la integridad de las personas, la seguridad de los procesos y el cuidado del medio ambiente, contribuyendo al bienestar de las áreas donde operamos, con personal comprometido que busca la excelencia, su desarrollo integral y la construcción de relaciones de largo plazo con nuestros grupos de interés. La visión para el año 2012 es ser un grupo empresarial enfocado en petróleo, gas, petroquímica y combustibles alternativos, será una de las 30 principales compañías de la industria petrolera, reconocida por su posicionamiento internacional, su innovación y compromiso con el desarrollo sostenible. ECOPETROL está comprometido con el desarrollo sostenible, el respeto, la integridad, la responsabilidad, compromiso con la vida, pasión por la excelencia, y el espíritu de equipo ([Gutiérrez, 2012, p.1](#)).
- ❖ Objetivo de la compañía: Aumentar la confiabilidad de equipos, maximizar la eficiencia y disminuir el impacto ambiental en la generación de los Servicios Industriales de la Refinería de Barrancabermeja ([Gutiérrez, 2012](#)).
- ❖ Mapa de proceso: A continuación Figura 3 en se muestra el mapa de proceso.

Figura 3. Mapa de proceso



Fuente: Gutierrez Javier, presidente de Ecopetrol

Logística

❖ Mapa estratégico: A continuación en la Figura 4 se muestra el mapa de proceso.

Figura 4. Mapa estratégico



Fuente: Gutierrez Javier, presidente de Ecopetrol

Modernización de la refinería de Barrancabermeja: Esta modernización tiene como objetivo adecuar la refinería de Barrancabermeja para transformar crudos pesados en productos valiosos de mejor calidad, asegurando la rentabilidad y generación de valor a mediano y largo plazo, como parte de la estrategia ECOPETROL para alcanzar la MEGA de 1,3 MBPD de crudo en el 2020. La refinería de Barrancabermeja tiene actualmente capacidad para procesar diariamente 250 mil barriles de crudos livianos y medianos, para los cuales su producción se encuentra en declive. Esa es justamente una de las razones por las cuales se requiere la modernización, pues su factor de conversión en productos valiosos (propileno, gasolinas, destilados medios y petroquímicos) es del 76%, lo que la ubica en una clasificación de conversión media, orientada principalmente al tratamiento de crudos livianos y medianos. Una vez modernizada la refinería, estará en capacidad de procesar 175 mil barriles al día de crudos pesados, incrementará la producción de diesel de bajo Azufre en 45 mil barriles por día, con lo cual el país dejara de importar este combustible. Tanto el diesel como la gasolina que se producirán con la refinería modernizada, serán combustibles más

limpios y de mejor calidad y habrá menos contaminación al medio ambiente, convirtiéndose en una de las mejores refinerías de Latinoamérica ([Santander Comprometido, 2012, p.1](#)).

### **2.1.3 Análisis y descripción del producto que se desea obtener con el proyecto**

Debido a la necesidad de modernización de la refinería de Barrancabermeja por el incremento de la producción, es necesaria la construcción de 20 tanques para el almacenamiento del crudo extraído de los nuevos pozos perforados. Debido a la necesidad de la protección de los fondos de los tanques contra los fenómenos de corrosión, se implementará los sistemas de protección catódica.

La construcción del sistema de protección catódica para los fondos de los tanques enterrados, es una técnica de ingeniería que consiste en proporcionarle corriente al fondo del tanque a través de la arena bajo el fondo y por medio de la malla anódica GRID® para reducir los procesos de corrosión.

Los sistemas de protección catódica es una técnica que resulta económica y duradera para la protección contra la corrosión no solo de los fondos de los tanques sino de todas las estructuras enterradas o sumergidas como pueden ser: tuberías enterradas o sumergidas, muelles marinos o fluviales, cascos de barcos, etc.

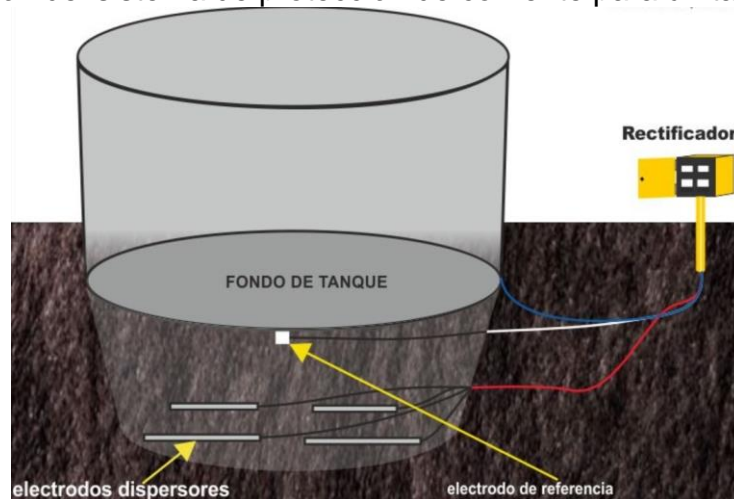
### **2.1.4 Estado del arte (marco teórico relacionado con el producto).**

La protección catódica es una técnica que se aplica para reducir la corrosión de una superficie metálica; esto se logra haciendo que esa superficie metálica se convierta en el cátodo de una celda electroquímica mediante la inyección de corriente directa a la estructura en contacto con el suelo y a través de éste. El cátodo de una celda electroquímica es el electrodo en el que tiene lugar la reducción (y en el que no hay corrosión). Antes de aplicar protección catódica, las estructuras que se corroen tienen zonas catódicas y zonas anódicas (donde se produce la corrosión). Por consiguiente, si todas las zonas anódicas pudieran volverse zonas catódicas, toda la estructura se convertirá en un cátodo y se eliminará la corrosión ([NACE, 2009, p.1](#)).

La velocidad de corrosión se podría reducir si cada parte de metal expuesto en la superficie de una estructura pudiera recoger corriente. Esto es exactamente lo que la protección catódica hace. Se lleva corriente directa a todas las superficies de una estructura metálica. Esta corriente directa cambia el potencial del acero en dirección activa (negativa), lo que resulta en una reducción de la velocidad de la corrosión del metal. Cuando la cantidad de corriente que fluye se ajusta adecuadamente, ésta sobrepotencializa la corriente de corrosión descargada desde las áreas anódicas en la estructura, y existirá un flujo de corriente neto en la superficie del metal en estos puntos. La superficie entera será entonces un cátodo y la velocidad de la corrosión se reducirá ([Peabody, 2001](#)).

En la Figura 5 se muestra cómo funciona el drenaje de corriente en la protección catódica para el tanque.

Figura 5. Ilustración del sistema de protección de corriente para un tanque



Fuente: SELEC

Para que el sistema de protección catódica trabaje se debe descargar corriente desde una conexión a tierra (malla anódica). El único propósito de esta malla anódica es descargar corriente. En el proceso de la descarga de corriente, los ánodos en la malla anódica son consumidos por corrosión.

Es deseable usar materiales para la malla anódica que se consuman a mucha menor velocidad (libras/amperio/año) que el metal del fondo del tanque. Esto asegurará un razonable periodo de vida para los ánodos ([Peabody, 2001](#)).

Aunque la teoría básica de protección catódica es simple (imprimir corriente DC a una estructura para reducir la velocidad de corrosión), la pregunta obvia que surge es: ¿cómo se sabe cuándo se ha obtenido adecuada protección en una estructura enterrada? La respuesta a esta pregunta es que a través de los años se han desarrollado varios criterios que permiten una determinación de cuando se ha obtenido adecuada protección.

Estos criterios, en el uso más frecuente, involucran medidas del potencial entre la estructura metálica y el suelo. La medida permite una rápida y confiable determinación del grado de protección obtenido. Básicamente, el criterio del potencial se usa para evaluar los cambios en el potencial de la estructura con respecto al medio ambiente, los cuales son causados por la corriente de protección catódica que fluye desde el medio que la rodea, agua, tierra o arena, hacia la estructura.

El potencial de una estructura en una ubicación dada se conoce comúnmente como el potencial estructura-suelo. El potencial estructura-suelo se puede determinar midiendo el voltaje entre la metal del fondo del tanque y una celda de referencia ubicado en el suelo directamente sobre la estructura. La celda o electrodo de referencia más comúnmente usado para este propósito es el electrodo de referencia cobre-sulfato de cobre.

El potencial se conoce como el potencial *ON* si la medida se realiza con el sistema de protección catódica energizado. El potencial *OFF* o *instant OFF* estima el potencial polarizado cuando la medida se realiza dentro de un segundo después de interrumpir simultáneamente la salida de corriente de todas las fuentes de corriente del sistema y cualquier otra fuente de corriente que afecte la estructura ([Peabody, 2001](#)).



### **2.1.5 Aplicación del estado del arte-diseño conceptual de la solución**

A continuación se presentará las definiciones de las partes que conforma el sistema de protección catódica para el fondo de los tanques de crudo y la metodología para su construcción:

**ARENA DE RELLENO:** La arena de relleno del anillo debe ser proveniente de una cantera de peña o debe ser lavada de río. El relleno del anillo de concreto deberá ser realizado por la empresa responsable por la construcción del tanque. El relleno será aplicado de manera que no se arriesgue la integridad del sistema de protección catódica. Luego se deberá compactar el relleno, siempre teniendo cuidado de no dañar el cableado del sistema ni los electrodos de referencia. El constructor estará alerta para suspender las siguientes etapas de construcción para reparar cualquier daño producido al cableado y/o a cualquier parte del sistema detectado durante los diferentes chequeos realizados durante el proceso del relleno del anillo de concreto.

**MALLA ANÓDICA GRID®:** Sistema de protección catódica por corriente impresa diseñado para una vida útil de 20 a 50 años, dependiendo de los requerimientos y las condiciones de la estructura. El sistema está compuesto de cintas anódicas espaciadas equidistantes y paralelas. Por medio de soldadura de punto de resistencia, la cinta anódica es unida a varias barras conductoras de tal forma que se crea un patrón de malla. El espaciamiento de las cintas anódicas y la redundancia de las conexiones eléctricas aseguran una distribución de corriente uniforme para todas las áreas del fondo del tanque.

**BARRA CONDUCTORA:** Cintas de titanio equidistantes y paralelas que cortan perpendicularmente el arreglo de cintas anódicas paralelas. En cada punto de intersección se garantiza el contacto eléctrico mediante soldadura de punto.

**CINTA ANÓDICA DE MMO:** Ánodo en forma de cinta compuesto por un sustrato de titanio, el cual está recubierto por una mezcla de metales oxidados (MMO), condición que lo hace dimensionalmente estable y altamente conductivo.

**CABLE ALIMENTADOR O POWER FEED:** Tramos de cable calibre 8 AWG con aislamiento para enterramiento directo HMWPE mediante los cuales la corriente proveniente del transformador/rectificador es aplicada al sistema GRID® desde varios puntos para promover la distribución uniforme de corriente. En su extremo está unido eléctricamente y aislado apropiadamente a un tramo de titanio de las mismas especificaciones que la barra conductora.

**MÁQUINA DE SOLDAR DE PUNTO:** Fuente de energía que produce la corriente necesaria para producir la soldadura de punto entre dos superficies conductoras.

**RECTIFICADOR DE CORRIENTE:** El sistema está alimentado por un rectificador de corriente AC por onda completa que es alimentado, generalmente, por un sistema trifásico. El rectificador es enfriado por aceite por lo que su encerramiento es clasificado NEMA 3R con un recubrimiento galvanizado y es montado sobre un base de concreto. El voltaje y corriente nominal de salida depende de los requerimientos de corriente definitivos de la estructura; su ajuste es manual por medio de 6 TAP gruesos y 6 TAP finos para un total de 36 ajustes. Tanto la acometida AC de alimentación como la DC serán protegidas por dispositivos contra transitorios, sobre- tensiones y sobre-corrientes provenientes de fallas o descargas eléctricas atmosféricas.

**CAJA DE CONEXIONES:** Se utiliza una caja de conexiones denominada DE POSITIVOS que es elaborada en aluminio fundido con clasificación NEMA 7 y/o NEMA 4X para la distribución de la corriente de protección catódica desde el rectificador hacia los cables alimentadores. La caja de conexiones es montada en una estructura adecuada sobre el anillo de concreto por lo que todos sus accesorios serán igualmente NEMA 7 y/o NEMA 4X. La caja de conexión utiliza como montaje interno un barraje de cobre estañado y pernería de acero inoxidable mientras que los cables serán conectados mediante terminales de compresión adecuados para el calibre y tipo de cable que ingresen a la caja de conexiones. El barraje es montado sobre aisladores, los mismos que serán montados sobre un panel dieléctrico e ignífugo.

**CABLE NEAGTIVO:** El tanque debe contar con una platina de acero al carbono soldada a una altura de 8" del nivel superior del anillo de concreto, la cual tiene una perforación pasante, de tal manera que sea posible conectar apropiadamente y por medio de pernos de acero inoxidable, un terminal de ojo. El terminal de ojo es ponchado apropiadamente a un cable No. 4 AWG con aislamiento HMWPE o similar proveniente del borne negativo del rectificador.

**CELDA DE REFERENCIA PERMANENTE:** La efectividad del sistema de protección catódica debe ser monitoreada por celdas o electrodos de referencia permanente de cobre/sulfato de cobre especificados para su instalación en el suelo o por electrodos de CINC de acuerdo con la temperatura de operación del tanque. El electrodo de referencia es ubicado entre 6" y 8" del fondo del tanque y por encima de la malla anódica, cuenta con un cable No. 10 AWG con aislamiento para enterramiento directo HMWPE o similar y de una longitud apropiada para llegar a una estación de prueba o a la caja de conexiones. El electrodo de referencia permanente especificado será para 30 años de vida útil, con una exactitud o variación mínima de  $\pm 5$  mV y con protección contra la contaminación por iones provenientes del suelo.

**CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA:** Una vez esté construido el anillo de concreto y la geo-membrana haya sido instalada, se debe aplicar y dejar 0.05 metros de arena sobre la membrana. Enseguida, tienda las barras conductoras de manera continua de acuerdo con el patrón mostrado en los planos sin permitir que se formen rizos o se dañe la cinta. Con objetos no-metálicos y muy suaves, como por ejemplo bolsas de arena, mantenga la cinta anódica en su sitio. Por medio de un soldador de resistencia apropiado (recomendado por el fabricante del sistema GRID®), conecte eléctricamente la barra central a cada una de las barras conductoras haciendo por lo menos cuatro (4) puntos de contacto.

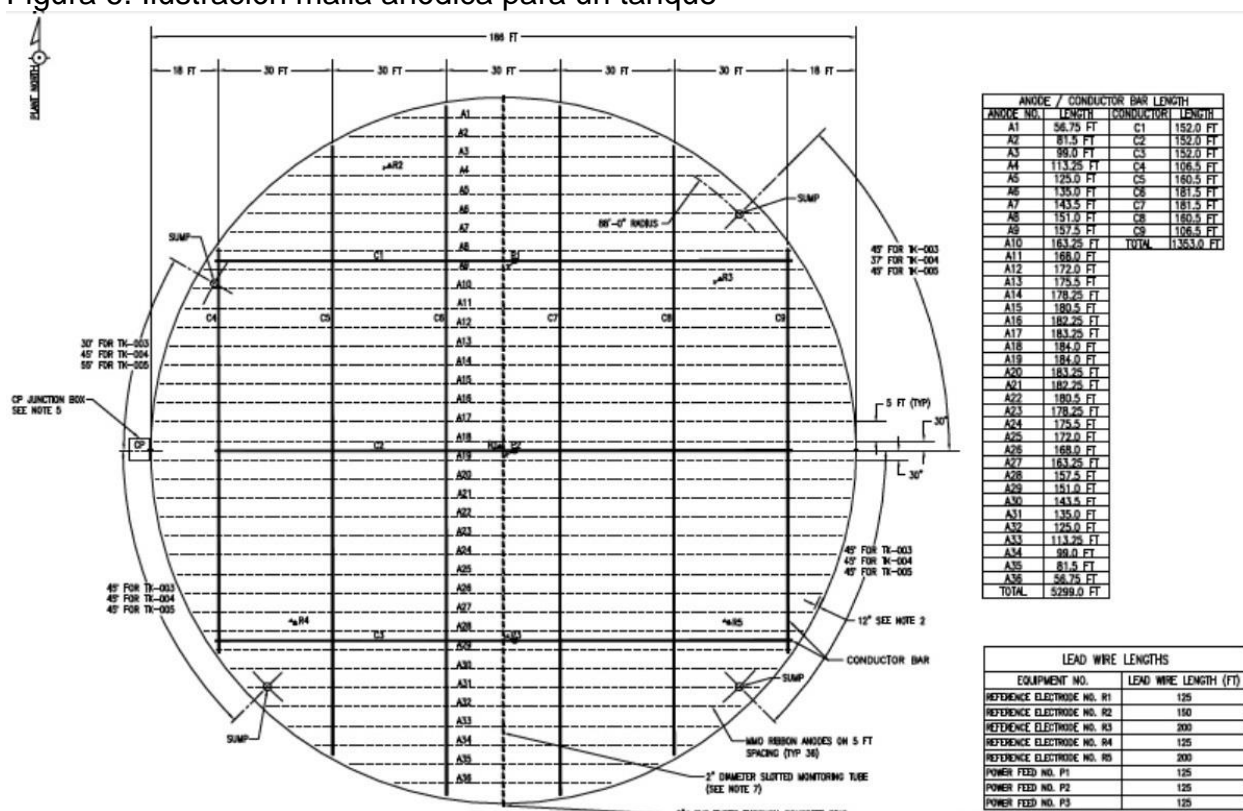
Tienda la cinta anódica de Titanio de acuerdo con el patrón especificado en los planos. Por medio de un soldador de resistencia apropiado (recomendado por el fabricante del sistema GRID®), conecte eléctricamente cada uno de las cintas anódicas a las barras conductoras haciendo por lo menos dos (2) puntos de contacto. La unión eléctrica en los puntos de contacto entre la cinta anódica y la

barra conductora resultado de la implementación del sistema de protección catódica tipo MALLA, son la parte vital para el buen desempeño del sistema GRID®; por lo que es muy importante ratificar el ajuste apropiado del equipo de soldadura. Aunque eléctricamente, es suficiente con un punto de soldadura entre la barra y la cinta, por razones mecánicas, se recomienda realizar la unión por medio de dos (2) puntos de soldadura.

Se deben instalar los cables alimentadores en los puntos mostrados en los planos para la instalación del sistema (Ver Figura 6). La longitud de los cables alimentadores debe ser lo suficientemente larga para que llegue a la caja de conexiones sin uniones ni empalmes. Conduzca siempre los cables alimentares por debajo de las cintas anódicas y barras conductoras, y protéjalos por medio de tramos de manguera en cada uno de los cruces con las cintas (anódicas y conductoras).

La conexión del CABLE ALIMENTADOR debe hacerse siempre a una barra conductora y nunca a un ánodo; dependiendo del diámetro del tanque debe procurarse conectar uno en el centro y los otros en los cuadrantes del círculo que describe el fondo de tanque; por lo que es necesario instalar también BARRAS CONDUCTORAS paralelas a los ánodos. Los puntos de soldadura deben hacerse aproximadamente cada  $\frac{3}{4}$ " a lo largo de toda la longitud de la lámina de Titanio que conforma el CABLE ALIMENTADOR; para evitar el movimiento de esta lámina, se pueden utilizar un par de alicates de presión.

Figura 6. Ilustración malla anódica para un tanque



Fuente: Tomado de un diseño de CORPRO-TECNA

**INSTALACIÓN CELDAS DE REFERENCIA:** Antes de su instalación, las celdas de referencia permanente deben ser probados juntando la zona semipermeable contra la punta cerámica de un electrodo portátil CSE (calibrado) y midiendo la caída de voltaje entre los dos (2) electrodos. Si el valor absoluto de la lectura no supera los 10 mili-Voltios, se considera el electrodo de referencia permanente apropiado para la instalación. Se deben instalar las celdas de referencia permanentes en la arena compactada entre 0.15 y 0.20 metros del fondo exterior del tanque en las zonas mostradas en los planos. Los electrodos de referencia permanente serán ubicados en una configuración relacionada con la magnitud del diámetro y de acuerdo con los planos de construcción.

**INSTALACIÓN CAJA DE CONEXIÓN:** En las platinas metálicas perforadas correspondientes, conecte el cable negativo No. 4 AWG HMWPE y el cable de referencia de la estructura No. 10 AWG HMWPE por medio de pernos de acero

inoxidable apropiados para cada una de las perforaciones. La longitud de los cables de referencia y negativo deben ser lo suficientemente larga para que llegue a la caja de conexiones y al rectificador, respectivamente, sin uniones ni empalmes. Después de asegurar la instalación de los pernos, se debe aplicar el revestimiento especificado.

**INSTALACIÓN CABLES DE CORRIENTE DIRECTA:** Se deben atar todos los cables del sistema de protección catódica y pasar a través del pasa-muros del anillo de concreto, usando lubricantes apropiados para evitar daños en el aislamiento de los cables. Una vez se hayan pasado los cables, se puede concluir con los trabajos de relleno con la arena sobre el sistema GRID®.

**PUESTA EN MARCHA:** Primero, se debe inspeccionar visualmente el sistema de protección catódica para asegurar que está instalado apropiadamente y medir la resistencia eléctrica entre el fondo del tanque y cada uno de los cables alimentadores; los valores de resistencia medidos deben estar del orden de los 800 Kilo Ohm.

Antes de energizar el sistema de protección catódica, es necesario registrar los valores de potencial natural con cada uno de los electrodos permanentes de referencia instalados.

Una vez realizado el registro, se continúa con la activación del rectificador en el ajuste más bajo. A medida que se incrementa progresivamente la salida de corriente del rectificador, se debe monitorear y registrar las medidas de potencial y de corriente para cada electrodo y cable alimentador, respectivamente.

El ajuste final del rectificador se debe hacer de tal manera que se cumpla con el criterio objetivo mediante la utilización de los electrodos de referencia permanentes. Después de las siguientes doce (12) horas de operación continua del sistema se deben registrar las siguientes medidas:

- Potencial en los electrodos de referencia con el sistema de protección catódica activo (Potencial OM).

- Potencial en los electrodos o celdas de referencia con el sistema de protección catódica interrumpido cíclicamente: 4 segundos ON, 1 segundo *instant OFF*.
- Corriente de operación de los cables alimentadores dispuestos en la caja de conexiones.
- Treinta (30) días después se llevará a cabo un monitoreo y registro de las mismas magnitudes.
- Todos los valores obtenidos deben ser presentados en formatos apropiados y en un reporte de PUESTA EN MARCHA.

## **2.2 ESTUDIO DE MERCADO**

Para la realización del proyecto de la instalación del sistema de protección catódica para los fondos de los tanques de crudo; no es necesaria la realización del estudio de mercado. El motivo para la no aplicabilidad del estudio de mercado, es debido a que éste ya ha sido realizado previamente a la adjudicación del proyecto por parte de ECOPETROL.

El proyecto se realizará en el complejo petrolero para la ampliación de la refinería de Barrancabermeja y debido que el proyecto ya ha sido adjudicado, no es necesario determinar los objetivos, analizar la oferta y la demanda, determinar los precios y que métodos utilizar; ya que son los interrogantes que se plantean en estudio de mercado.

## **2.3 SOSTENIBILIDAD**

A continuación se presentará la sostenibilidad en cuanto a lo social, ambiental, económico y los riesgos.

### **2.3.1 Social**

El proyecto de ampliación y modernización de la refinería de Barrancabermeja del cual hará parte indispensable el sistema de protección catódica para los nuevos tanques de almacenamiento de crudo, tendrá un fuerte impacto en la generación de nuevos empleos durante la construcción, operación y mantenimiento.

Según datos de Ecopetrol, a partir de 2020 cuando la ampliación y modernización ya se culminen este proyecto generara 40.000 nuevos empleos en otras actividades diferentes al petróleo ([Portafolio, 2013](#)).

El sistema de protección catódica que se desarrolla con este proyecto es fundamental para minimizar los efectos corrosivos del suelo sobre el metal de los tanques, garantizando con esto la operación y estabilidad de la refinería y de todos los puestos de trabajo necesarios para su operación y mantenimiento.

### **2.3.2 Ambiental**

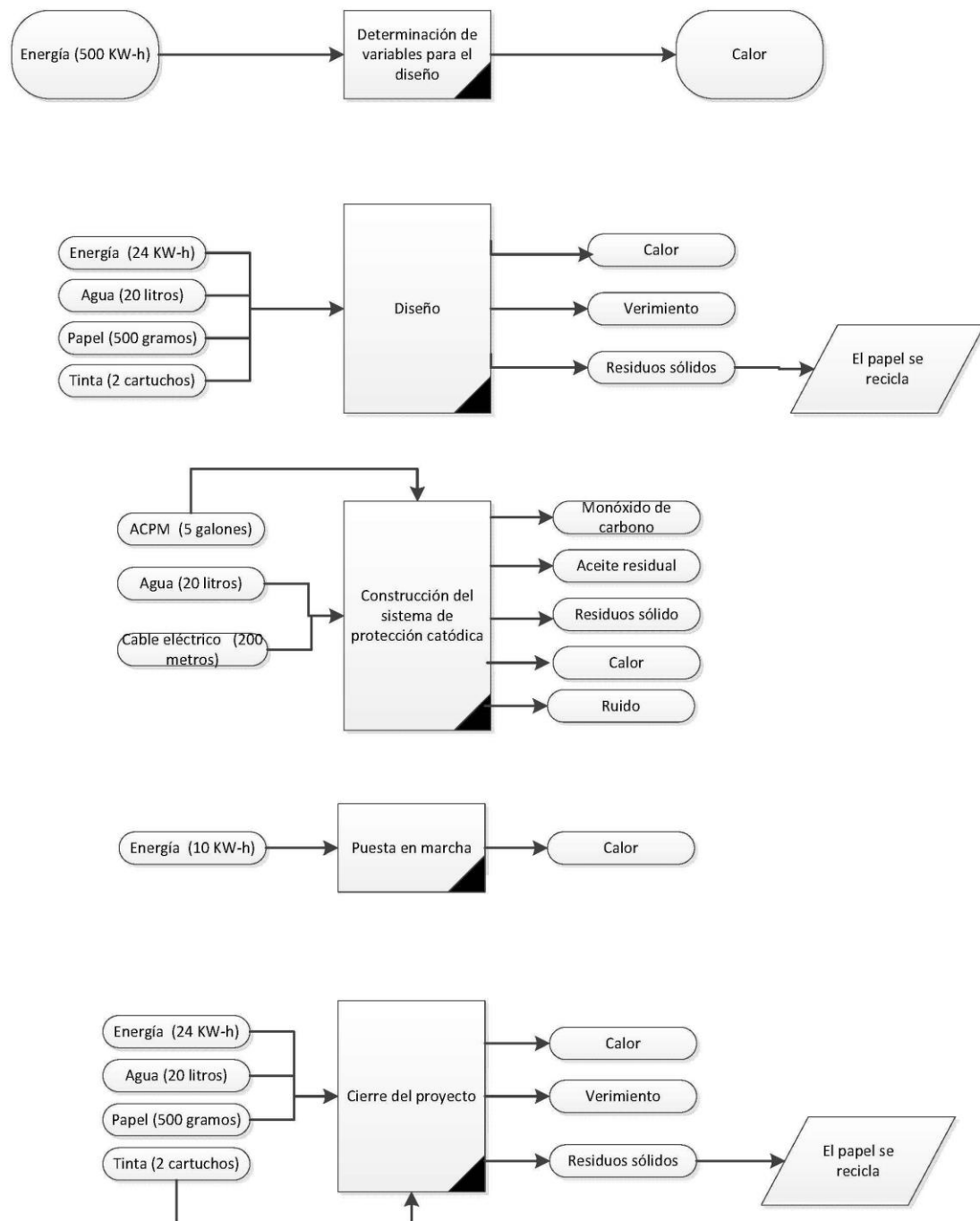
La ampliación y modernización de la refinería de Barrancabermeja permitirá que esta mejore su factor de conversión de 76% a más del 95%, lo que permitirá un mejor aprovechamiento de los recursos, se producirán diesel y gasolina más limpios y de mejor calidad disminuyendo la contaminación al medio ambiente.

De manera directa el sistema de protección catódica logra evitar que se presenten derrames de crudo que afecten de manera irreversible el medio ambiente y además alarga la vida útil de los tanques reduciendo los desechos causados al reemplazar los materiales en mal estado.

En particular para el proyecto de protección catódica para el fondo de los nuevos tanques de la refinería; definimos el siguiente flujo de entradas y salidas presentada en la Figura 7 teniendo en cuenta el ciclo de vida del producto.



Figura 7. Flujo de entradas y salidas



Fuente: Los autores

Con base en el flujo de entradas y salidas de la Figura 7, definimos la siguiente matriz en la Tabla 1 con los impactos identificados su correspondiente indicador y el mecanismo de seguimiento.

Tabla 1. Matriz de impacto, indicador y mecanismo de seguimiento.

	<b>Impacto Ambiental</b>	<b>Objetivo Estratégico de la Gestión Ambiental</b>	<b>Actividades Estratégicas</b>	<b>Metas (Tiempos y Cantidades )</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Mecanismo de Seguimiento</b>
<b>1</b>	Generación de residuos sólidos	Optimizar el uso de los materiales para generar la menor cantidad posible de residuos en la construcción de la malla anódica	Cumplir con los estándares de las medidas, realizando los cortes exactos y reciclar los materiales sobrantes	Reducir en un 10% los residuos sólidos durante la ejecución del proyecto	Kilogramos de residuos sólidos generados por tanque	Llevar la contabilidad de los kilogramos de residuos sólidos generados en cada tanque.
<b>2</b>	Generación de residuos líquidos y lubricantes	Reducir los residuos líquidos generados por la planta eléctrica	Operar la planta eléctrica únicamente durante las actividades necesarias	Reducir los Kilogramos de residuos líquidos generados en el proyecto	Kilogramos de residuos líquidos generados en el proyecto	Llevar el control del tiempo de utilización de la planta eléctrica
<b>3</b>	Emisión de gases de combustión	Disminuir la contaminación del aire por gases de combustión de la planta eléctrica	Mantenimiento periódico de la planta y utilización de filtros para los gases de combustión	Reducir en un 5% la emisión de gases diarios a la atmosfera	Kilogramos de dióxidos de carbono (CO2) por tanque	Medición periódica de los gases emitidos por la planta eléctrica

4	Contaminación por ruido	Disminuir los niveles de ruido en la estación (Refinería de Barrancabermeja)	Mantenimiento periódico de la planta eléctrica en especial el mofle y filtros de ruido	Durante la operación de la planta nunca superar los 60 Decibeles	Decibeles (dB)	Controlar con un equipo de medición los decibeles generados por la planta eléctrica
5	Consumo excesivo de combustible (ACPM)	Disminuir la cantidad de combustible usado en la planta eléctrica	Operar la planta eléctrica únicamente durante las actividades necesarias	Disminuir los galones de combustible (ACPM) por tanque	Galones de combustible (ACPM)	Llevar control del tiempo de utilización de la planta

Fuente: los autores

### 2.3.3 Económica

El sistema de protección catódica, reduce en gran medida la necesidad de reemplazar constantemente los materiales que son vulnerables a la corrosión, logrando que las ganancias se incrementen y evitando que se presenten derrames o incidente que puedan afectar de gran manera la viabilidad económica de la operación de la refinería.

Este aumento en las ganancias de la refinería también se ve reflejado en los ingresos que recibirá el municipio de Barrancabermeja, pues se tiene calculado que para el 2020, cuando la ampliación ya este culminada el municipio aumentara sus ingresos en 9,2 por ciento.

A continuación en la Tabla 2 se muestra el número de empleos generados en la ampliación de la refinería y de la construcción del sistema de protección catódica

Tabla 2. Estadística de los empleos generados

<b>Indicador</b>	<b>Ampliación</b>	<b>Implementación del sistema de protección catódica</b>
Empleos generados en la construcción	5 mil Empleos	8 Empleos
Empleos indirectos generados	40 mil Empleos	15 Empleos
Ingresos adicionales por impuestos	9,2%	-

Fuente: Los autores

2.3.4 Riesgos

A continuación se presentará los involucrados y la estructura de desglose del riesgo para el proyecto de implementación.

- Involucrados

En el tema de los involucrados presentaremos las matrices de los involucrados, dependencia-influencia, de temas y respuestas la cuales se encuentran a continuación.

❖ Matriz de involucrados

En la ar en la ejecución del proyecto

Tabla 3 se presentan los involucrados asociados a los riesgos que se pueden presentar en la ejecución del proyecto

Tabla 3. Involucrados en los riesgos

INVOLUCRADOS	ROL	RIESGO ASOCIADO
Clientes	Es a quien se le presta el servicio	Un mala calidad en la prestación del servicio
Proveedores	Quien suministra los materiales y los equipos	Un atraso en la entrega de los materiales
Subcontratista	Quien realiza las bases de concreto	Atrasos en la entrega de los trabajos
Accionistas	Son los que financia el proyecto	Carencia de financiación para terminar el proyecto
Director del proyecto	Es quien dirige el proyecto	Que no siga los lineamiento de la gerencia de proyectos
Equipo de trabajo	Son los que ejecutan el proyecto	Que no se ejecuten las labores acordes a las especificaciones técnicas
Ciudadanos de la región	Son los habitantes del municipio de Barrancabermeja	Protestas por la no contratación del personal de la región
Gobierno	Son los que rigen la leyes para la ejecución de la labor	No expedir los permisos para la labor dentro de la región de Barrancabermeja

Fuente: Los autores

❖ Matriz de dependencia-influencia

En la Tabla 4 se presentan la matriz dependencia-influencia en la ejecución del proyecto.

Tabla 4. Matriz de dependencia-influencia

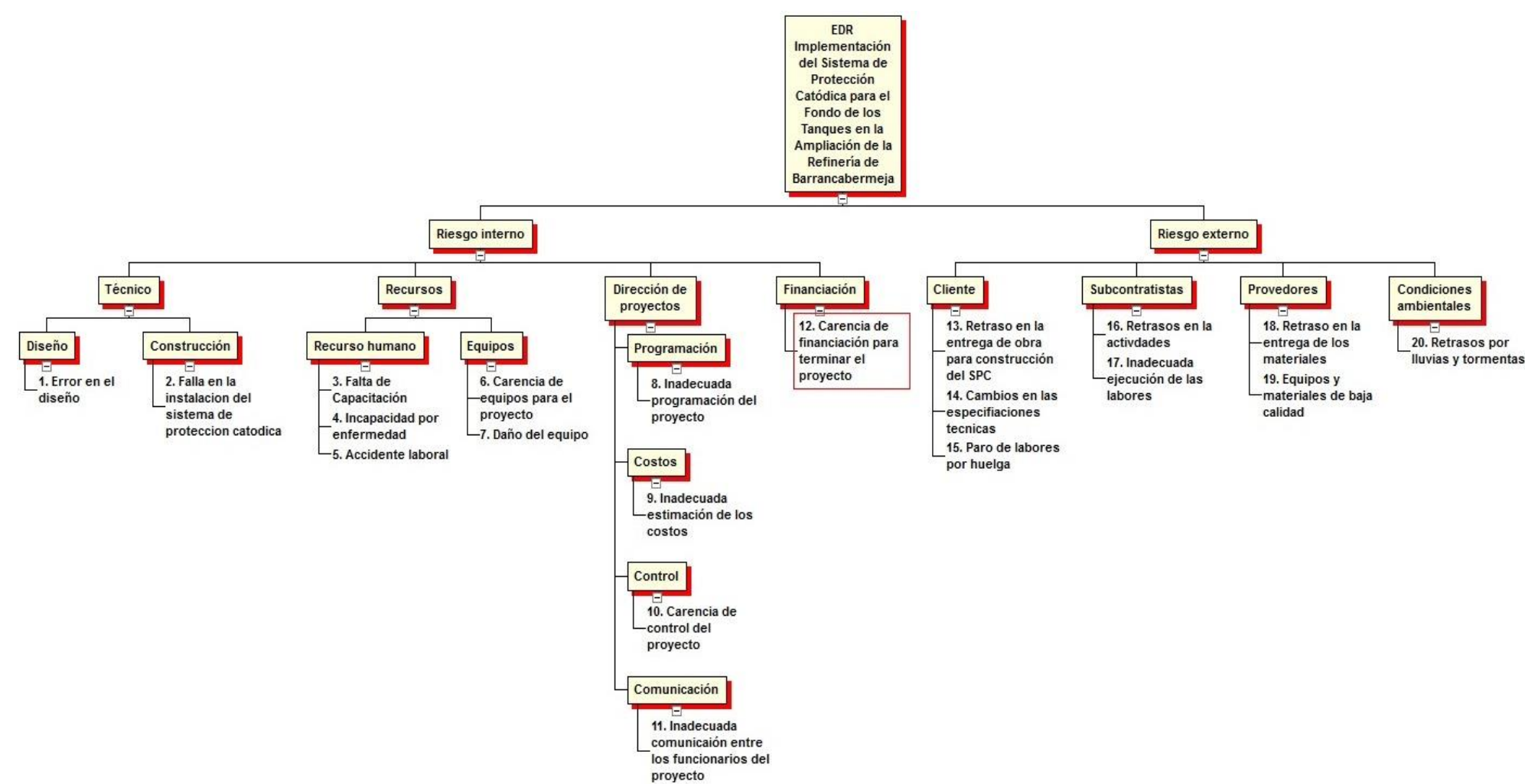
		Nivel de influencia de los stakeholders en la organización	
		Bajo	Alto
Grado de dependencia de los stakeholders respecto de la organización	Alto	<u>Tratamiento justo</u> – honrar los compromisos con estos stakeholders según las políticas de la compañía, la reglamentación y las normas de la industria, de lo contrario, tratar de mantener a los stakeholders satisfechos dentro de los límites de una relación costo-beneficio equilibrada	<u>Amenaza u oportunidad estratégica</u> – invertir en los procesos de relación para comprender las inquietudes y desarrollar soluciones
	Bajo	<u>Baja prioridad</u> – ofrecer acceso a los canales generales de información y retroalimentación	<u>Mantener la participación e información</u> – pero asegurar un equilibrio entre las inquietudes de los stakeholders de alto nivel de influencia y las personas afectadas por las decisiones

Fuente: Tomado de buenas tareas

- “Risk Breakdown Structure” -RiBS-

A continuación en la figura Figura 8 se presenta la estructura de desglose de riesgos “Risk Breakdown Structure”-RiBS-.

Figura 8. Estructura de Desglose de Riesgos “Risk Breakdown Structure” -RiBS-.



Fuente: Los autores

❖ Matriz de registro de riesgos

A continuación en la Tabla 5 se encuentra la matriz de registro de riesgo; donde se presenta los nueve (9) riesgos seleccionados de los veinte (20) riesgos totales que surgieron en la Estructura Desglose de Riesgos “*Risk Breakdown Structure*” -RiBS-.

Tabla 5. Matriz de registro de riesgos

ID Riesgo	Amenaza	Oportunidad	Objetivo Afectado	Riesgo	Causa	Efecto	Potencial propietario del riesgo	Potenciales respuestas
1	X		Alcance, tiempo y costo	El personal no aprueba los exámenes técnicos y de seguridad	Carencia de personal capacitado o insuficiente capacitación	Retraso en el cronograma de 1 semana y costo por capacitación de 3300000	Director del proyecto	Se le realiza capacitación al personal
2	X		Tiempo y costo	Daño del equipo soldador o planta eléctrica	Carencia de mantenimiento o mala manipulación	Retraso de una semana en el cronograma y costo de reparación por 1'000.000	Técnico de protección catódica	Alquiler de un equipo
3	X		Alcance	Inadecuada comunicación en el proyecto	Carencia del plan de comunicación o no se sigue el plan de comunicación	El producto no cumple con las especificaciones del cliente 10'000.000	Ingeniero residente	Verificación del plan de comunicación y sociabilización del plan de comunicación
4		X	Tiempo y costo	Retraso de más de una semana en la entrega por parte del cliente de la obra para la construcción del SPC	Retrasos propios del cliente en la construcción y entrega de la obra civil de la base del tanque	Retribución económica correspondiente a los días de retraso en la entrega de la base del tanque	Ingeniero residente	Adicionar personal para adelantar el trabajo atrasado, sumando un valor adicional al contrato por esta labor
5		X	Alcance, tiempo y costo	Cambio en las especificaciones técnicas que no correspondan al alcance	Carencia de claridad en las necesidades por parte del cliente	El alcance debe ser modificado para cumplir con las nuevas especificaciones solicitadas	Ingeniero residente	Modificar el alcance, para cumpla con las nuevas especificaciones a un Costo mayor según lo requerido
6		X	Tiempo y costo	Retraso de más de una semana en las labores por Paro en la refinería por huelga	Huelgas de los trabajadores de la refinería que impiden trabajar	Retribución económica correspondiente a los días que dure la huelga y no se pueda trabajar	Director del proyecto	Adicionar personal para adelantar el trabajo atrasado, sumando un valor adicional al contrato por esta labor



7	X		Tiempo	Retrasos en las actividades por parte del subcontratista por más de dos días	Mala planeación del contratista para cumplir con la actividad	Retraso equivalente al tiempo que el subcontratista se retrase en hacer la actividad	Ingeniero residente	Duplicar el personal para recuperar el tiempo que el Subcontratista perdió por el retraso
8	X		Tiempo	Retraso en la entrega de materiales por parte del proveedor por más de 3 días	El proveedor no dispone de los elementos requeridos en el tiempo solicitado	Retraso en el cronograma de acuerdo a la demora en la entrega de los materiales	Ingeniero residente	Buscar otro proveedor que cuente con los materiales solicitados.
9	X		Tiempo y costo	Retraso por lluvias y tormentas por más de tres días	Condiciones ambientales	Retraso en el cronograma por 3 días y sobre costo por 4014900	Ingeniero residente	Duplicar el personal, para adelantar el trabajo los días que no llueve

Fuente: Los autores

❖ Análisis cualitativo y cuantitativo

A continuación en la Tabla 6 se encuentra la matriz del análisis cualitativo y cuantitativo. En esta matriz se verifica que el riesgo asociado a las condiciones ambientales específicamente a las lluvias y tormentas eléctricas; son las que tienen mayor probabilidad de ocurrir.

Tabla 6. Matriz del análisis cualitativo y cuantitativo

ID Riesgo	Riesgo	Categoría	Probabilidad (P)	Impacto (I)	P X I	Impacto en costos (\$)	EMV	Plan Contingencia (Plan de Respuesta de Riesgos)	Evitar/ Explotar	Transferir/ Compartir	Mitigar/ Mejorar	Aceptar	Disparador	Responsable del Riesgo	Observaciones
1	El personal no aprueba los exámenes técnicos y de seguridad	Interno-Recursos-Recurso Humano	30%	40%	12%	7'732.800	2'319.840	Realizar capacitación de una semana	X				No supera el puntaje aprobatorio en el examen	Director del proyecto	Realizar pruebas previas para empezar el trabajo
2	Daño del equipo soldador o planta eléctrica	Interno-Recursos-Equipos	50%	20%	10%	1'000.000	500.000	Alquilar equipo mientras se dispone del propio			X		Daño de equipo principal	Ingeniero Residente	Monitoreo y control del estado y mantenimientos preventivo de los equipos
3	Inadecuada comunicación en el proyecto	Interno-Dirección de Proyectos-Comunicación	30%	40%	12%	10'000.000	3'000.000	Reposición de la expectativa del alcance			X		Inconformidad técnica del cliente	Director del proyecto	Reuniones semanales de seguimiento
4	Retraso de más de una semana en la entrega por parte del cliente de la obra para la construcción del SPC	Externo-Cliente	10%	40%	4%	2'319.840	231.984	Tener personal disponible para trabajar horas extras y poder cumplir con esta labor			X		Más de una semana de retraso en la entrega de la base del tanque	Ingeniero residente	Reuniones semanales con el cliente para verificación del avance de las obras
5	Cambio en las especificaciones técnicas que no correspondan al alcance	Externo-Cliente	10%	40%	4%	4'639.680	463.968	Disponer del personal para suplir las nuevas Solicitudes			X		Cualquier cambio en las especificaciones que no se encuentre dentro del alcance	Director del proyecto	Reuniones semanales con el cliente para verificación del avance de las obras
6	Retraso de más de una semana en las labores por Paro en la refinería por huelga	Externo-Cliente	10%	40%	4%	2'319.840	231.984	Tener personal disponible para trabajar horas extras y poder cumplir con esta labor			X		Más de una semana de retraso por huelgas que impiden realizar el trabajo	Director del proyecto	Reuniones semanales de seguimiento

7	Retrasos en las actividades por parte del subcontratista por más de dos días	Externo-Subcontratista	50%	20%	10%	2'899.800	1'449.900	Tener disponible otro subcontratista para suplir el incumplimiento del subcontratista anterior			X		Más de dos días en la entrega de las actividades	Ingeniero Residente	Auditoria y seguimiento a el contratista
8	Retraso en la entrega de materiales por parte del proveedor por más de 3 días	Externo-Proveedor	60%	20%	12%	4'349.700	2'609.820	Tener varios proveedores que tengan los materiales necesarios para el proyecto			X		Primer incumplimiento por más de tres días en la entrega de los materiales	Director del proyecto	Control de compras y seguimiento del despacho de los materiales
9	Retraso por lluvias y tormentas por más de tres días	Externo-Ambientales	80%	20%	16%	4'349.700	3'479.760	Trabajar horas extras para aprovechar el tiempo en que no hay lluvias			X		Más de tres días seguidos de lluvias	Ingeniero residente	Seguimiento del cronograma de trabajo

Fuente: Los autores

En la Tabla 7 de clasificación de la probabilidad por el impacto, se verifica que el riesgo de más alta probabilidad que presenta en el proyecto (16%) tiene una clasificación de tolerable lo cual se podrá administrarse con el monto escogido del flujo de caja para los riesgos.

Tabla 7. Tabla de Probabilidad e Impacto

<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>PROBABILIDAD X IMPACTO</b>
ACEPTABLE	4%
	8%
	12%
TOLERABLE	16%
	20%
	24%
MODERADO	32%
	36%
	40%
IMPORTANTE	48%
	60%
	64%
RIESGO INACEPTABLE	80%
	90%
	100%

Fuente: Los autores

### 2.3.5 Matriz resumen de sostenibilidad

En la Tabla 8 se presenta la matriz resumen de la sostenibilidad social, ambiental y económica para la implantación del sistema de protección catódica para el fondo de los tanques de crudo.

Tabla 8. Matriz resumen de sostenibilidad

MATRIZ RESUMEN DE SOSTENIBILIDAD - IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA PARA EL FONDO DE LOS TANQUES EN LA AMPLIACIÓN DE LA REFINERÍA BARRANCABERMEJA		
Sostenibilidad Social		
Tipo empleos generados	Cantidad	Labor dentro del proyecto
Empleos directos generados	8	Diseño, Instalación y puesta en marcha del sistema de protección catódica
Empleos Indirectos generados	2	Pruebas de laboratorio
Empleos indirectos en la región	2	Construcción bases de concreto
Sostenibilidad Ambiental		
	Vida útil	Resultado
Tanque con sistema de protección catódica	15 - 20 Años	- Reducción de 60% en el uso de materiales para la operación de los tanques en 20 años. - Reducción del 60% en la generación de residuos sólidos por el remplazo de materiales para la operación de los tanques en 20 Años.
Tanque sin sistema de protección catódica	5 - 6 Años	
Sostenibilidad Económica		
	Costo Aproximado de mantenimiento en 20 Años - 20 Tanques	
Tanques con sistema de protección catódica	4.000.000.000 millones de pesos	
Tanques sin sistema de protección catódica	32.000.000.000 millones de pesos	

Fuente: Los autores

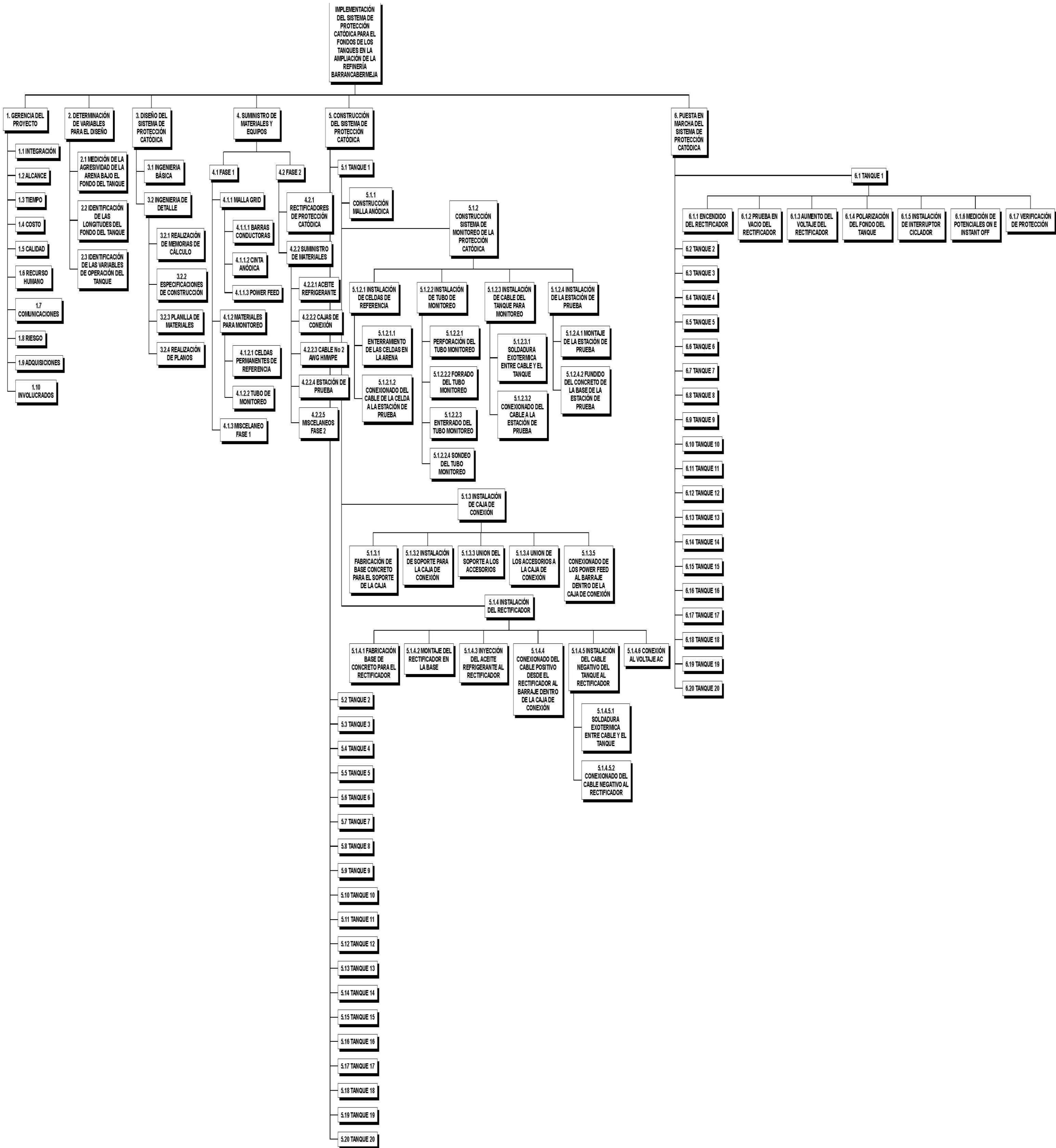
2.4 ECONÓMICO FINANCIERO

A continuación en la Figura 9 se presenta la EDT del proyecto a tercer nivel de desagregación

2.4.1 “Work Breakdown Structure” WBS/EDT.

Estructura de Desagregación del Trabajo.

Figura 9. Estructura de Desagregación del Trabajo a cuarto nivel “Work Breakdown Structure”.



Fuente:Autores

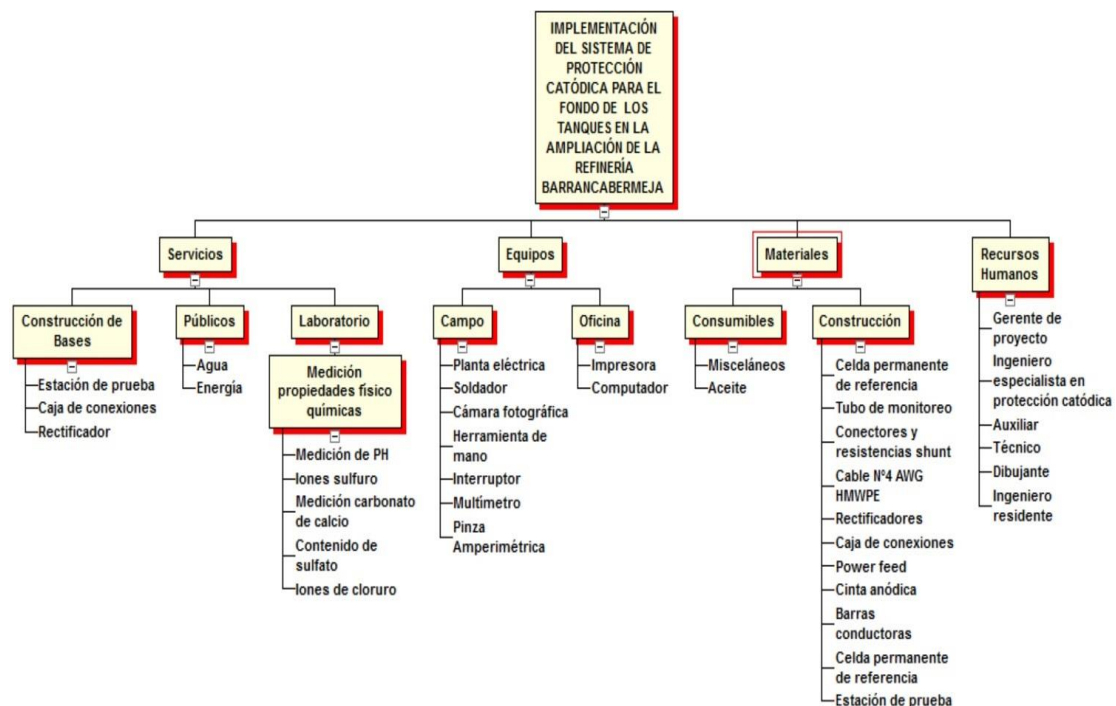
## 2.4.2 Definición nivel EDT que identifica la cuenta de planeación y la cuenta control

Para el proyecto hemos definido la cuenta de planeación y de control a tercer nivel según la estructura de desagregación que definimos.

## 2.4.3 Resource Breakdown Structure -ReBS-

Definimos la siguiente Estructura de Desagregación de los Recursos del proyecto en la Figura 10.

Figura 10. Estructura de Desagregación de los Recursos “Resource Breakdown Structure”

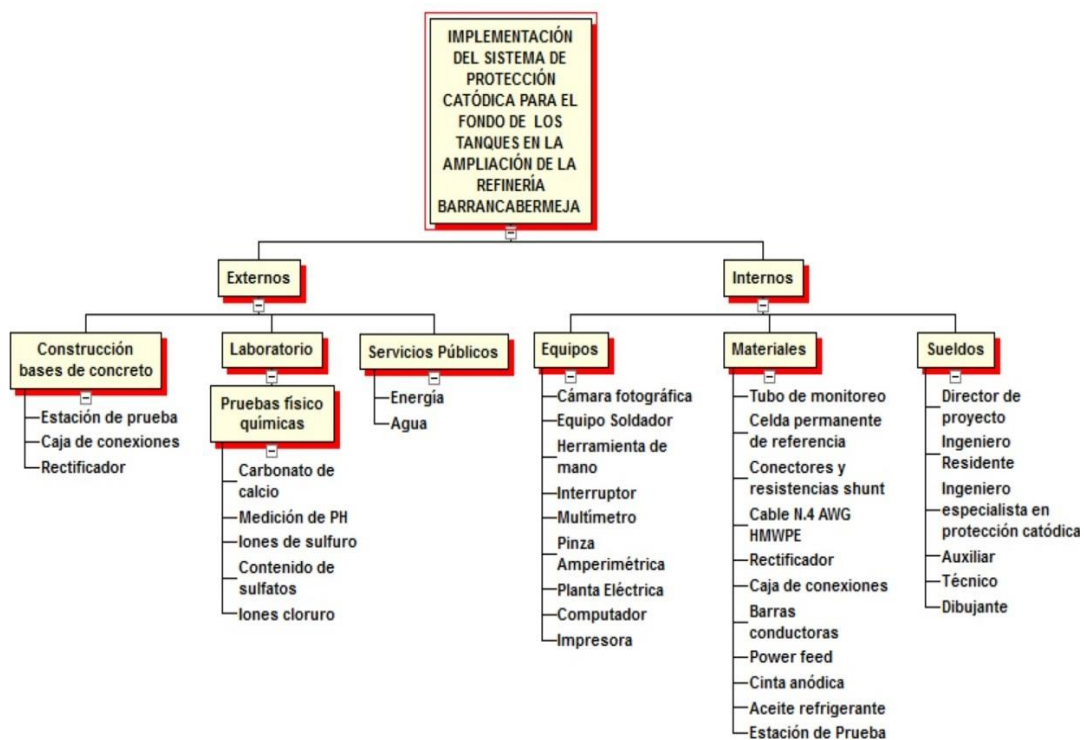


Fuente: Los autores

#### 2.4.4 Cost Breakdown Structure -CBS-

A continuación en la Figura 11 presentamos la estructura de desagregación de los costos.

Figura 11. Estructura de Desagregación de los Costos “Cost Breakdown Structure”.



Fuente: Los autores

#### 2.4.5 Presupuesto del caso de negocio y presupuesto del proyecto

Según las estructuras de desagregación de costos y recursos; se realiza la programación en Project y se obtiene el presupuesto del caso de negocio (ver Tabla 9) y el presupuesto del proyecto que se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



Tabla 9. Presupuesto del caso de negocio

PRESUPUESTO CASO DE NEGOCIO			
	1Tanque X Año	20 Tanques	Total X 20 Años
Mano de obra	\$ 3.000.000	\$ 60.000.000	\$ 1.200.000.000
Materiales y equipo	\$ 500.000	\$ 10.000.000	\$ 200.000.000
Consumo energía	\$ 2.000.000	\$ 40.000.000	\$ 800.000.000
TOTAL OPERACIÓN Y MANTO			\$ 2.200.000.000
Costos Fijos			
ITEM	Para 1 Tanque	Para 20 Tanques	
Materiales	\$ 45.000.000	\$ 900.000.000	
Rectificadores	\$ 13.000.000	\$ 260.000.000	
Pruebas de laboratorio	\$ 300.000	\$ 6.000.000	
Obras civiles	\$ 500.000	\$ 10.000.000	
Otros	\$ 500.000	\$ 10.000.000	
Reserva de Contingencia		\$ 15.000.000	
TOTAL COSTOS		\$ 1.201.000.000	
Costo uso de recursos para duración de 15 meses			
Recurso	Por 1 mes	Meses	Total
Herramientas y Equipos	\$ 300.000	13	\$ 3.900.000
Director de proyecto	\$ 10.000.000	15	\$ 150.000.000
Ingeniero especialista en protección catódica	\$ 8.000.000	5	\$ 40.000.000
Dibujante	\$ 2.000.000	1	\$ 2.000.000
Ingeniero Residente	\$ 6.000.000	14	\$ 84.000.000
Técnico Protección Catódica	\$ 4.000.000	11	\$ 44.000.000
Auxiliares	\$ 1.400.000	33	\$ 46.200.000
TOTAL USO DE RECURSOS		1	\$ 370.100.000
TOTAL PRESUPUESTO			\$ 3.771.100.000

Fuente: Los autores

Figura 12. Presupuesto de las actividades a cuarto nivel de desagregación.

Nivel 1		Nivel 2	Nivel 3	Costo	Costo real
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA PARA EL FONDO DE LOS TANQUES EN LA AMPLIACIÓN DE LA REMEDIA BARRANCABERIEÑA	1. GERENCIA DEL PROYECTO	1. GERENCIA DEL PROYECTO	1.1.1 Acta de constitución	\$ 600,000.00	0
		1.1 INTEGRACION	1.1.2 Plan de gestión del proyecto	\$ 1,618,000.00	0
			1.1.3 Dirigir y gestionar la ejecución del trabajo del proyecto	\$ 647,600.00	0
			1.1.4 Monitorear y controlar el trabajo del proyecto	\$ 10,387,560.00	0
			1.1.5 Control integrado de cambio	\$ 10,387,560.00	0
			1.1.6 Cierre del proyecto	\$ 14,159,760.00	0
		Total 1.1 INTEGRACION		\$ 47,588,040.00	0
		1.2 ALCANCE	1.2.1 Plan de gestión del alcance	\$ 323,800.00	0
			1.2.2 Requerimientos	\$ 906,240.00	0
			1.2.3 Definir alcance	\$ 906,240.00	0
			1.2.4 Crear EDT	\$ 906,240.00	0
			1.2.5 Validar alcance	\$ 10,387,560.00	0
			1.2.6 Controlar el alcance	\$ 10,387,560.00	0
		Total 1.2 ALCANCE		\$ 23,817,640.00	0
		1.3 TIEMPO	1.3.1 Plan de gestión de tiempo	\$ 323,800.00	0
			1.3.2 Definir actividades	\$ 906,240.00	0
			1.3.3 Construir la red	\$ 906,240.00	0
			1.3.4 Estimar recursos	\$ 906,240.00	0
			1.3.5 Estimar Duración	\$ 906,240.00	0
			1.3.6 Desarrollar cronograma	\$ 906,240.00	0
		Total 1.3 TIEMPO		\$ 10,387,560.00	0
		1.4 COSTO	1.4.1 Plan de gestión de costo	\$ 15,242,560.00	0
			1.4.2 Estimar costo	\$ 323,800.00	0
			1.4.3 Definir presupuesto	\$ 906,240.00	0
			1.4.4 Controlar costo	\$ 906,240.00	0
		Total 1.4 COSTO		\$ 10,400,400.00	0
		1.5 CALIDAD	1.5.1 Plan de gestión de calidad	\$ 12,536,680.00	0
			1.5.2 Aseguramiento de la calidad	\$ 323,800.00	0
			1.5.3 Control de la calidad	\$ 10,387,560.00	0
		Total 1.5 CALIDAD		\$ 10,387,560.00	0
		1.6 RECURSO HUMANO	1.6.1 Plan de gestión del recurso humano	\$ 21,098,920.00	0
			1.6.2 Conformar equipo	\$ 323,800.00	0
			1.6.3 Desarrollar el equipo	\$ 161,800.00	0
			1.6.4 Administrar el equipo	\$ 10,225,760.00	0
		Total 1.6 RECURSO HUMANO		\$ 10,387,560.00	0
		1.7 COMUNICACIONES	1.7.1 Plan de gestión de comunicación	\$ 21,098,920.00	0
			1.7.2 Gestionar comunicaciones	\$ 323,800.00	0
			1.7.3 Controlar comunicaciones	\$ 10,400,400.00	0
		Total 1.7 COMUNICACIONES		\$ 10,387,560.00	0
		1.8 RIESGO	1.8.1 Plan de gestión de riesgo	\$ 21,111,760.00	0
			1.8.2 Identificar riesgo	\$ 323,800.00	0
			1.8.3 Análisis cualitativo del riesgo	\$ 906,240.00	0
			1.8.4 Análisis cuantitativo del riesgo	\$ 906,240.00	0
			1.8.5 Planificar respuesta al riesgo	\$ 13,337,624.00	0
			1.8.6 Controlar riesgo	\$ 10,387,560.00	0
		Total 1.8 RIESGO		\$ 26,767,704.00	0
		1.9 ADQUISICIONES	1.9.1 Elaborar plan de gestión de adquisiciones	\$ 323,800.00	0
			1.9.2 Realizar adquisiciones	\$ 10,387,560.00	0
			1.9.3 Controlar adquisiciones	\$ 10,387,560.00	0
			1.9.4 Cerrar adquisiciones	\$ 960,000.00	0
		Total 1.9 ADQUISICIONES		\$ 22,058,920.00	0
		1.10 INVOLUCRADOS	1.10.1 Identificar involucrados	\$ 1,619,000.00	0
			1.10.2 Elaborar plan de gestión de involucrados	\$ 323,800.00	0
			1.10.3 Gestionar expectativa de involucrados	\$ 10,387,560.00	0
			1.10.4 Controlar expectativa de involucrados	\$ 10,387,560.00	0
		Total 1.10 INVOLUCRADOS		\$ 22,717,920.00	0
		Total 1. GERENCIA DEL PROYECTO		\$ 234,639,064.00	0
	2. DETERMINACIÓN DE VARIABLES PARA EL DISEÑO	2.1 MEDICIÓN DE LA AGRESIVIDAD DE LA ARENA BAJO EL FONDO DEL TANQUE	2.1 MEDICIÓN DE LA AGRESIVIDAD DE LA ARENA BAJO EL FONDO DEL TANQUE	\$ 300,000.00	0
			2.1.1 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD	\$ -	0
			2.1.2 MEDICIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	\$ -	0
		Total 2.1 MEDICIÓN DE LA AGRESIVIDAD DE LA ARENA BAJO EL FONDO DEL TANQUE	2.1.3 MEDICIÓN DE BACTERIAS SULFATO-REDUCTORAS	\$ 416,420.00	0
				\$ 300,000.00	0
		2.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS LONGITUDES DEL FONDO DEL TANQUE	2.2.1 IDENTIFICACIÓN DEL DIÁMETRO DEL TANQUE	\$ 262,752.00	0
			2.2.2 IDENTIFICACIÓN DE LA ALTURA DE LA CAPA DE ARENA	\$ 262,752.00	0
			2.2.3 IDENTIFICACIÓN DE LAS LONGITUDES DEL FONDO DEL TANQUE	\$ 525,504.00	0
		2.3 IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN DEL TANQUE	2.3.1 IDENTIFICACIÓN DE LA TEMPERATURA DE OPERACIÓN	\$ 262,752.00	0
			2.3.2 IDENTIFICACIÓN DEL GRADO DEL METAL	\$ 262,752.00	0
			2.3.3 IDENTIFICACIÓN DE LA GEOMEMBRANA BAJO LA ARENA	\$ 262,752.00	0
			2.3.4 IDENTIFICACIÓN DE LA PUESTA A TIERRA DEL TANQUE	\$ 261,912.00	0
			2.3.5 IDENTIFICACIÓN DE AISLAMIENTO EN LAS BRIDAS	\$ 262,752.00	0
			2.3.6 IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN DEL TANQUE	\$ 1,312,920.00	0
		Total 2.3 IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN DEL TANQUE		\$ 2,138,424.00	0
		Total 2. DETERMINACIÓN DE VARIABLES PARA EL DISEÑO		\$ 312,800.00	0
	3. DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA	3.1 INGENIERÍA BÁSICA	3.1 REALIZACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO	\$ 3,727,505.45	0
			3.2.2 ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN	\$ 623,600.00	0
			3.2.3 PLANILAS DE MATERIALES	\$ 625,600.00	0
			3.2.4 REALIZACIÓN DE PLANOS	\$ 428,000.00	0
		Total 3.1 INGENIERÍA BÁSICA	3.2.1 REALIZACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO	\$ 5,404,705.45	0
			3.2.2 ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN	\$ 5,717,505.45	0
			3.2.3 PLANILAS DE MATERIALES	\$ 5,717,505.45	0
		Total 3.2 INGENIERÍA DE DETALLE	3.2.4 REALIZACIÓN DE PLANOS	\$ 595,240,000.00	0
			4.1.1 MALLA GRID	\$ 65,006,000.00	0
			4.1.2 MATERIALES PARA MONITOREO	\$ 40,000,000.00	0
		Total 4.1 FASE 1	4.1.3 MISCELANEO FASE 1	\$ 700,246,000.00	0
			4.2.1 RECTIFICADORES DE PROTECCIÓN CATÓDICA	\$ 260,000,000.00	0
			4.2.2 SUMINISTRO DE MATERIALES	\$ 156,420,000.00	0
		Total 4.2 FASE 2		\$ 416,420,000.00	0
		Total 4. SUMINISTRO DE MATERIALES Y EQUIPOS		\$ 1,116,666,000.00	0
	5. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA	5.1 TANQUE 1	5.1.1 CONSTRUCCIÓN MALLA ANÓDICA	\$ 2,393,220.00	0
			5.1.2 CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA	\$ 2,077,220.00	0
			5.1.3 INSTALACIÓN DE CAJA DE CONEXIÓN	\$ 714,920.00	0
			5.1.4 INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR	\$ 1,471,460.00	0
		Total 5.1 TANQUE 1		\$ 6,656,820.00	0
		5.2 TANQUE 2	5.2.1 CONSTRUCCIÓN MALLA ANÓDICA	\$ 2,108,220.00	0
			5.2.2 CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA	\$ 2,023,220.00	0
			5.2.3 INSTALACIÓN DE CAJA DE CONEXIÓN	\$ 756,920.00	0
			5.2.4 INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR	\$ 1,527,710.00	0
		Total 5.2 TANQUE 2		\$ 6,416,070.00	0
		5.3 TANQUE 3	5.3.1 CONSTRUCCIÓN MALLA ANÓDICA	\$ 2,141,220.00	0
			5.3.2 CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA	\$ 2,023,220.00	0
5.3.3 INSTALACIÓN DE CAJA DE CONEXIÓN			\$ 756,920.00	0	
5.3.4 INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR			\$ 1,527,710.00	0	
Total 5.3 TANQUE 3			\$ 6,449,070.00	0	
5.4 TANQUE 4		5.4.1 CONSTRUCCIÓN MALLA ANÓDICA	\$ 2,141,220.00	0	
		5.4.2 CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA	\$ 2,023,220.00	0	
		5.4.3 INSTALACIÓN DE CAJA DE CONEXIÓN	\$ 756,920.00	0	
		5.4.4 INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR	\$ 1,527,710.00	0	
Total 5.4 TANQUE 4			\$ 6,416,070.00	0	
5.5 TANQUE 5		5.5.1 CONSTRUCCIÓN MALLA ANÓDICA	\$ 2,140,362.86	0	
		5.5.2 CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA	\$ 2,023,220.00	0	
		5.5.3 INSTALACIÓN DE CAJA DE CONEXIÓN	\$ 756,920.00	0	
		5.5.4 INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR	\$ 1,527,710.00	0	
Total 5.5 TANQUE 5			\$ 6,448,212.86	0	
5.6 TANQUE 6		5.6.1 CONSTRUCCIÓN MALLA ANÓDICA	\$ 2,140,362.86	0	
		5.6.2 CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA	\$ 2,023,220.00	0	
		5.6.3 INSTALACIÓN DE CAJA DE CONEXIÓN	\$ 756,920.00	0	
		5.6.4 INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR	\$ 1,527,710.00	0	
Total 5.6 TANQUE 6			\$ 6,448,212.86	0	
5.7 TANQUE 7		5.7.1 CONSTRUCCIÓN MALLA ANÓDICA	\$ 2,122,362.86	0	
		5.7.2 CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA	\$ 2,023,220.00	0	
		5.7.3 INSTALACIÓN DE CAJA DE CONEXIÓN	\$ 756,920.00	0	
		5.7.4 INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR	\$ 1,527,710.00	0	
Total 5.7 TANQUE 7			\$ 6,430,212.86	0	
5.8 TANQUE 8		5.8.1 CONSTRUCCIÓN MALLA ANÓDICA	\$ 2,122,362.86	0	
		5.8.2 CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA	\$ 2,023,220.00	0	
		5.8.3 INSTALACIÓN DE CAJA DE CONEXIÓN	\$ 756,920.00	0	
		5.8.4 INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR	\$ 1,527,710.00	0	
Total 5.8 TANQUE 8			\$ 6,430,212.86	0	
5.9 TANQUE 9		5.9.1 CONSTRUCCIÓN MALLA ANÓDICA	\$ 2,122,362.86	0	
		5.9.2 CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA	\$ 2,023,220.00	0	
		5.9.3 INSTALACIÓN DE CAJA DE CONEXIÓN	\$ 756,920.00	0	
		5.9.4 INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR	\$ 1,527,710.00	0	
Total 5.9 TANQUE 9			\$ 6,430,212.86	0	
5.10 TANQUE 10		5.10.1 CONSTRUCCIÓN MALLA ANÓDICA	\$ 2,122,362.86	0	
		5.10.2 CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA	\$ 2,023,220.00	0	
		5.10.3 INSTALACIÓN DE CAJA DE CONEXIÓN	\$ 756,920.00	0	
		5.10.4 INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR	\$ 1,527,710.00	0	
Total 5.10 TANQUE 10			\$ 6,430,212.86	0	
5.11 TANQUE 11		5.11.1 CONSTRUCCIÓN MALLA ANÓDICA	\$ 2,122,362.86	0	
		5.11.2 CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA	\$ 2,023,220.00	0	
		5.11.3 INSTALACIÓN DE CAJA DE CONEXIÓN	\$ 756,920.00	0	
		5.11.4 INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR	\$ 1,527,710.00	0	
Total 5.11 TANQUE 11			\$ 6,430,212.86	0	
5.12 TANQUE 12		5.12.1 CONSTRUCCIÓN MALLA ANÓDICA	\$ 2,122,362.86	0	
		5.12.2 CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA	\$ 2,023,220.00	0	
		5.12.3 INSTALACIÓN DE CAJA DE CONEXIÓN	\$ 756,920.00	0	
		5.12.4 INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR	\$ 1,527,710.00	0	
Total 5.12 TANQUE 12			\$ 6,430,212.86	0	
5.13 TANQUE 13		5.13.1 CONSTRUCCIÓN MALLA ANÓDICA	\$ 2,122,362.86	0	
		5.13.2 CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA	\$ 2,023,220.00	0	
		5.13.3 INSTALACIÓN DE CAJA DE CONEXIÓN	\$ 756,920.00	0	
		5.13.4 INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR	\$ 1,527,710.00	0	
Total 5.13 TANQUE 13			\$ 6,430,212.86	0	
5.14 TANQUE 14		5.14.1 CONSTRUCCIÓN MALLA ANÓDICA	\$ 2,122,362.86	0	
		5.14.2 CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA	\$ 2,023,220.00	0	
		5.14.3 INSTALACIÓN DE CAJA DE CONEXIÓN	\$ 756,920.00	0	
		5.14.4 INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR	\$ 1,527,710.00	0	
Total 5.14 TANQUE 14			\$ 6,430,212.86	0	
5.15 TANQUE 15		5.15.1 CONSTRUCCIÓN MALLA ANÓDICA	\$ 2,122,362.86	0	
		5.15.2 CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA	\$ 2,023,220.00	0	
		5.15.3 INSTALACIÓN DE CAJA DE CONEXIÓN	\$ 756,920.00	0	
		5.15.4 INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR	\$ 1,527,710.00	0	
Total 5.15 TANQUE 15			\$ 6,430,212.86	0	
5.16 TANQUE 16		5.16.1 CONSTRUCCIÓN MALLA ANÓDICA	\$ 2,122,362.86	0	
5.16 TANQUE 16	5.16.2 CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA	\$ 2,023,220.00	0		
	5.16.3 INSTALACIÓN DE CAJA DE CONEXIÓN	\$ 756,920.00	0		
	5.16.4 INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR	\$ 1,527,710.00	0		
	Total 5.16 TANQUE 16		\$ 6,430,212.86	0	
5.17 TANQUE 17	5.17.1 CONSTRUCCIÓN MALLA ANÓDICA	\$ 2,122,362.86	0		
5.17 TANQUE 17	5.17.2 CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA	\$ 2,023,220.00	0		
	5.17.3 INSTALACIÓN DE CAJA DE CONEXIÓN	\$ 756,920.00	0		
	5.17.4 INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR	\$ 1,527,710.00	0		
	Total 5.17 TANQUE 17		\$ 6,430,212.86	0	
5.18 TANQUE 18	5.18.1 CONSTRUCCIÓN MALLA ANÓDICA	\$ 2,122,362.86	0		
5.18 TANQUE 18	5.18.2 CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA	\$ 2,023,220.00	0		
	5.18.3 INSTALACIÓN DE CAJA DE CONEXIÓN	\$ 756,920.00	0		
	5.18.4 INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR	\$ 1,527,710.00	0		
	Total 5.18 TANQUE 18		\$ 6,430,212.86	0	
5.19 TANQUE 19	5.19.1 CONSTRUCCIÓN MALLA ANÓDICA	\$ 2,122,362.86	0		
5.19 TANQUE 19	5.19.2 CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA	\$ 2,023,220.00	0		
	5.19.3 INSTALACIÓN DE CAJA DE CONEXIÓN	\$ 756,920.00	0		
	5.19.4 INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR	\$ 1,527,710.00	0		
	Total 5.19 TANQUE 19		\$ 6,430,212.86	0	
5.20 TANQUE 20	5.20.1 CONSTRUCCIÓN MALLA ANÓDICA	\$ 2,123,220.00	0		
5.20 TANQUE 20	5.20.2 CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA	\$ 1,948,220.00	0		
	5.20.3 INSTALACIÓN DE CAJA DE CONEXIÓN	\$ 756,920.00	0		
	5.20.4 INSTALACIÓN DEL RECTIFICADOR	\$ 1,527,710.00	0		
	Total 5.20 TANQUE 20		\$ 6,366,070.00	0	
Total 5. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA		\$ 128,783,292.86	0		



Fuente: Los autores

#### **2.4.6 Fuente y usos de fondos**

La fuente de los fondos para desarrollar el proyecto serán propios proveniente de la ganancia del desarrollo de anteriores proyectos de implementación e inspecciones de sistemas de protección catódica, por lo que no se tuvieron en cuenta fuentes externas de financiación, estos serán usados de acuerdo al cronograma en el proyecto de la implementación del sistema de protección catódica para el fondo de los tanques de crudo construidos en la ampliación de la refinería de Barrancabermeja. El uso de los fondos normalmente son para el desarrollo de otros trabajos de inspección, implementación, diagnósticos, interventorías de los sistemas de protección catódica para tanques y líneas enterradas o sumergidas para otros clientes los cuales se distribuyen en los pagos de los salarios de los empleados, el mantenimiento de equipos, las capacitaciones del personal y en los gastos administrativos como el mantenimiento de la oficina.

#### **2.4.7 Flujo de caja del proyecto**

A continuación en la Tabla 10 se presenta el flujo de caja del proyecto obtenido de la programación del Project.

Tabla 10. Flujo de caja del proyecto

Recursos	Datos			
	Costo presupuestado (\$)	Costo previsto	Costo (\$)	Costo real (\$)
Plan de contingencia	0	(\$ 773.333.324	(\$ 773.333.324	0
Barras conductoras	0	(\$ 108.800.000	(\$ 108.800.000	0
Cinta anódica	0	(\$ 473.000.000	(\$ 473.000.000	0
Power feed X 3	0	(\$ 13.440.000	(\$ 13.440.000	0
Celda permanente de referencia	0	(\$ 51.800.000	(\$ 51.800.000	0
Tubo de monitoreo	0	(\$ 13.206.000	(\$ 13.206.000	0
Rectificadores de protección catódica	0	(\$ 260.000.000	(\$ 260.000.000	0
Aceite refrigerante	0	(\$ 30.000.000	(\$ 30.000.000	0
Caja de conexiones	0	(\$ 44.400.000	(\$ 44.400.000	0
Cable N.4 AWG HMWPE	0	(\$ 17.220.000	(\$ 17.220.000	0
Estación de prueba	0	(\$ 4.800.000	(\$ 4.800.000	0
Misceláneos fase 1	0	(\$ 40.000.000	(\$ 40.000.000	0
Misceláneos fase 2	0	(\$ 60.000.000	(\$ 60.000.000	0
Laboratorio	0	(\$ 300.000	(\$ 300.000	0
Base estación de prueba	0	(\$ 4.000.000	(\$ 4.000.000	0
Base caja de conexiones	0	(\$ 4.000.000	(\$ 4.000.000	0
Base rectificadores	0	(\$ 4.000.000	(\$ 4.000.000	0
Cámara fotográfica	0	(\$ 34.6000	(\$ 346.000	0
Equipo soldador	0	(\$ 8.8000	(\$ 88.000	0
Herramienta de mano	0	(\$ 1.072.600	(\$ 1.072.600	0
Interruptor	0	(\$ 25.000	(\$ 25.000	0
Multímetro	0	(\$ 45.000	(\$ 45.000	0
Pinza amperimétrica	0	(\$ 35.000	(\$ 35.000	0
Planta eléctrica	0	(\$ 350.000	(\$ 350.000	0
Computador	0	(\$ 2.034.929.455	(\$ 2.034.929.455	0
Director de proyecto	0	(\$ 213.184.000	(\$ 213.184.000	0
Ingeniero especialista en protección catódica	0	(\$ 47.239.920	(\$ 47.239.920	0
Dibujante	0	(\$ 390.000	(\$ 390.000	0
Ingeniero residente	0	(\$ 92.500.000	(\$ 92.500.000	0
Técnico protección catódica	0	(\$ 30.825.000	(\$ 30.825.000	0
Auxiliares	0	(\$ 1.589.6892.86	(\$ 1.589.6892.86	0
Reserva de Contingencia	0	(\$ 12.431.384	(\$ 12.431.384	0
Energía	0	(\$ 300.000	(\$ 300.000	0
Agua	0	(\$ 300.000	(\$ 300.000	0
Impresora	0	(\$ 636.760	(\$ 636.760	0
Total general	0	\$ 1.546.666.486	\$ 1.546.666.486	0

Fuente: Los autores

### 2.4.8 Evaluación financiera

Se define un costo de oportunidad mínimo de 20% para calcular la viabilidad del proyecto.

Definimos flujo de caja del caso de negocio que se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11. Flujo de caja del caso de negocio para la evaluación financiera

Flujo de Caja Caso de Negocio			
Mes	Costos	Recursos	Total
1	\$ 471.000.000	\$ 10.000.000	\$ 481.000.000
2		\$ 34.500.000	\$ 34.500.000
3		\$ 32.500.000	\$ 32.500.000
4		\$ 24.500.000	\$ 24.500.000
5		\$ 24.500.000	\$ 24.500.000
6		\$ 24.500.000	\$ 24.500.000
7		\$ 24.500.000	\$ 24.500.000
8	\$ 20.000.000	\$ 24.500.000	\$ 44.500.000
9	\$ 450.000.000	\$ 24.500.000	\$ 474.500.000
10	\$ 260.000.000	\$ 24.500.000	\$ 284.500.000
11		\$ 24.500.000	\$ 24.500.000
12		\$ 32.500.000	\$ 32.500.000
13		\$ 24.300.000	\$ 24.300.000
14		\$ 24.300.000	\$ 24.300.000
15		\$ 16.000.000	\$ 16.000.000
T	\$ 1.201.000.000	\$ 370.100.000	\$ 1.571.100.000

Fuente: Los autores

En base al flujo de caja del caso de negocio y teniendo en cuenta que el pago recibido al finalizar el proyecto es de \$ 95.000.000 por la instalación en cada tanque, para un total de \$ 1.900.000.000 para los 20 tanques al finalizar el proyecto. Con lo anterior obtenemos un TIR de 26,50% superando el costo de oportunidad mínimo requerido para la viabilidad del proyecto.

## 2.4.9 Análisis de sensibilidad

A continuación planteamos un análisis de sensibilidad plantando un retraso en la ejecución del proyecto de 3 meses. Con este escenario generamos el siguiente flujo de caja en la Tabla 12.

Tabla 12. Flujo de caja del caso de negocio para el análisis de sensibilidad

Flujo de Caja Caso de Negocio			
Mes	Costos	Recursos	Total
1	\$ 471.000.000	\$ 10.000.000	\$ 481.000.000
2		\$ 34.500.000	\$ 34.500.000
3		\$ 32.500.000	\$ 32.500.000
4		\$ 24.500.000	\$ 24.500.000
5		\$ 24.500.000	\$ 24.500.000
6		\$ 24.500.000	\$ 24.500.000
7		\$ 24.500.000	\$ 24.500.000
8	\$ 20.000.000	\$ 24.500.000	\$ 44.500.000
9	\$ 450.000.000	\$ 24.500.000	\$ 474.500.000
10	\$ 260.000.000	\$ 24.500.000	\$ 284.500.000
11		\$ 24.500.000	\$ 24.500.000
12		\$ 32.500.000	\$ 32.500.000
13		\$ 32.500.000	\$ 32.500.000
14		\$ 24.300.000	\$ 24.300.000
15		\$ 24.300.000	\$ 24.300.000
16		\$ 24.300.000	\$ 24.300.000
17		\$ 24.300.000	\$ 24.300.000
18		\$ 16.000.000	\$ 16.000.000
T	\$ 1.201.000.000	\$ 451.200.000	\$ 1.652.200.000

Fuente: Los autores

Con el anterior flujo de caja y manteniendo el mismo pago recibido de \$1.900.000.000, obtenemos una TIR de 14.74%. Con este escenario el proyecto no cumpliría la condición de costo de oportunidad.

Tomando una TIR mínima de 20%, calculamos que el tiempo máximo de retraso que puede tener el proyecto es de 1 mes y 17 días, para que cumpla el costo de oportunidad definido.

### 3. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

Parte fundamental en la planificación de un proyecto es la programación y los planes subsidiarios. A continuación presentaremos el cronograma y los planes del proyecto.

#### 3.1 PROGRAMACIÓN

En este aparte de la programación se presenta la herramientas como la línea base de tiempo-alcance con estimaciones de duración esperada con la técnica de distribución PERT beta-normal, el cronograma, el presupuesto, los indicadores como la curva “S” de presupuesto, respuesta a los principales riesgos y la organización jerárquica programación- línea base de tiempo-alcance.

A continuación en la Tabla 13 se presenta la lista de actividades con sus precedentes y la duración para la implementación del sistema de protección catódica para el fondo de los tanques.

Tabla 13. Actividades para la implementación del sistema de protección catódica

ITEM	ACTIVIDADES	ACTIVIDADES PRECEDENTES	Duración (semanas)
1	Determinación de variables para el diseño	-	1
2	Diseño del sistema de protección catódica	1	4
3	Suministro de materiales fase 1	2	0,14
4	Construcción de la malla anódica	2,3	21
5	Suministro de materiales fase 2	2	0,14
6	Instalación caja de conexión, rectificador y estación de prueba	2,5	16
7	Puesta en marcha del sistema de protección catódica	6	8

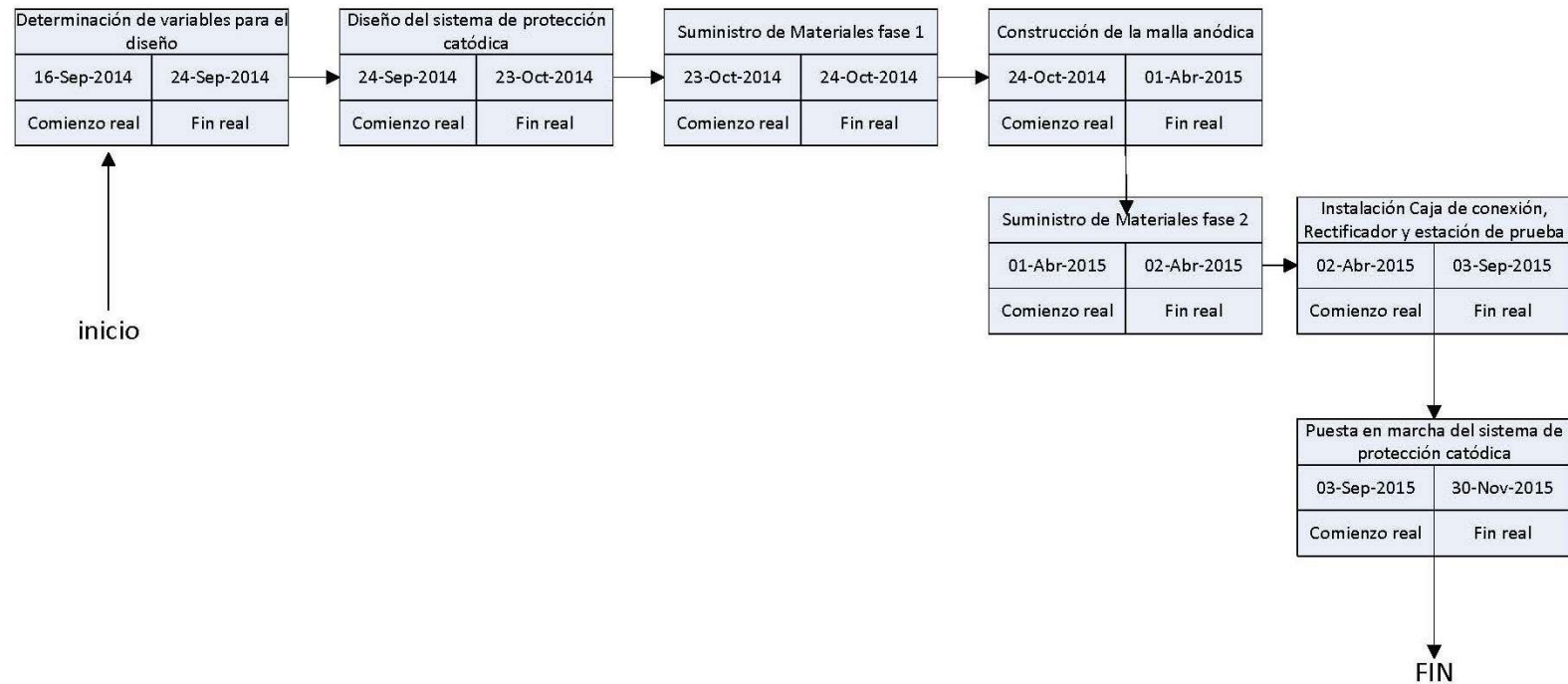
Fuente: Los autores



- Red

A continuación en la Figura 13 se presenta el diagrama de red, de acuerdo a las actividades y su duración para la implementación del sistema de protección catódica para el fondo de los tanques.

Figura 13. Red del proyecto de implementación del sistema de protección catódica

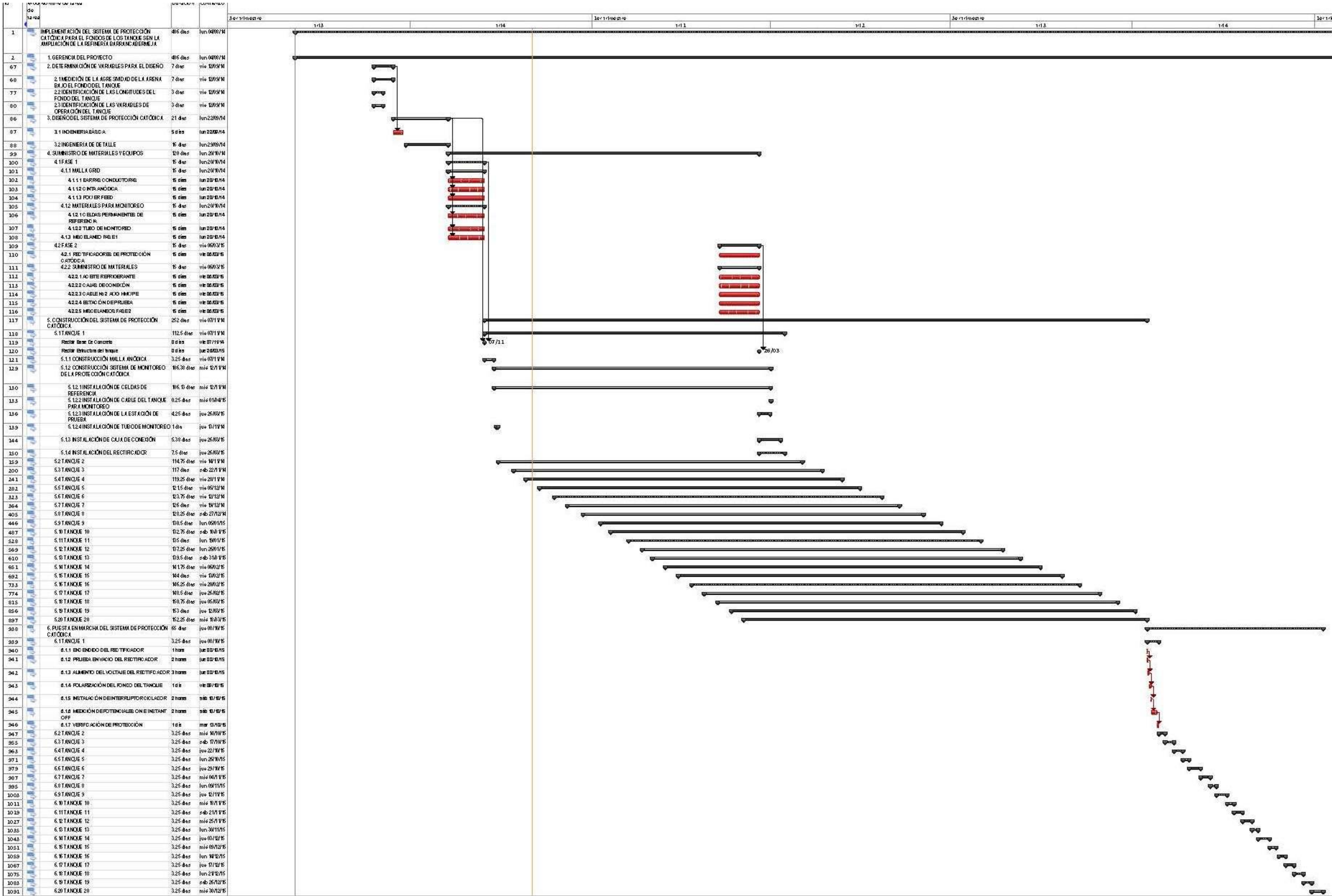


Fuente: Los autores

- Cronograma

A continuación en la se presenta el cronograma del proyecto.

Figura 14. Cronograma para la implementación del sistema de protección



Fuente: Los autores

- Uso de recursos

A continuación en la Tabla 14 se presenta la distribución del uso de los recursos en horas para cada mes de cada recurso.

Tabla 14. Uso de recursos

Trabajo previsto	Año 2014					Total año 2014	Año 2015												Total año 2015	Total general
	Tiempo (horas) para cada mes						Tiempo (horas) para cada mes													
Recursos	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Horas	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Horas	Horas
Cámara fotográfica				133	188	321	185	180	172	105	107	102	119	123	137	132	48	0	1409	1730
Equipo soldador				63	97	160	80	88	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	240	400
Herramienta de mano				133	188	321	185	180	172	105	107	102	119	123	137	132	48	0	1409	1730
Interruptor														4	16	14	6	0	40	40
Multímetro														43	137	132	48	0	360	360
Pinza amperimétrica														33	107	102	38	0	280	280
Planta eléctrica				63	97	160	80	88	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	240	400
Computador	161,6	213,5	237,2	152	169	934	167	162	169	158	159	155	176	175	235	235	166	16	1974	2907
Director de proyecto	161,6	182,8	177,6	152	169	843	167	162	171	160	159	155	176	163	176	174	142	16	1822	2665
Ingeniero especialista en protección catódica		38,8	52,8			92								59	196	193	72		520	612
Dibujante			40,0			40														40
Ingeniero residente				133	188	321	185	180	172	105	107	102	119	123	137	132	148	20	1529	1850
Téc. protección catódica				133	188	321	185	180	172	105	107	102	119	80	0	0	0	0	1049	1370
Auxiliares				214	220	434	227	213	197	213	223	212	240	163	0	0	0	0	1686	2120
Impresora	70,0	96,5	117.6	64	72	420	70	68	72	67	67	65	74	75	104	104	79	8	853	1273
Total horas	393,2	531,7	625.2	1240	1576	4366	1530	1501	1440	1017	1036	995	1142	1162	1383	1349	796	60	13410	17777

Fuente: Los autores

### 3.1.1 Presupuesto- Línea base

En la Tabla 15 se presenta el presupuesto con base en la línea base del proyecto de implementación del sistema de protección catódica para el fondo de los tanques.

Tabla 15. Presupuesto del proyecto

		Datos			
Año	Mes	Costo presupuestado	Costo previsto	Costo	Costo real
2014	Agosto	0	\$ 25.534.511,91	\$ 25.534.511,91	0
	Septiembre	0	\$ 18.159.211,11	\$ 18.159.211,11	0
	Octubre	0	\$ 719.187.625,65	\$ 719.187.625,65	0
	Noviembre	0	\$ 23.763.567,93	\$ 23.763.567,93	0
	Diciembre	0	\$ 29.269.921,65	\$ 29.269.921,65	0
Total 2014		0	\$ 815.914.838,25	\$ 815.914.838,25	0
2015	Enero	0	\$ 28.860.275,23	\$ 28.860.275,23	0
	Febrero	0	\$ 28.032.530,50	\$ 28.032.530,50	0
	Marzo	0	\$ 445.649.069,50	\$ 445.649.069,50	0
	Abril	0	\$ 24.657.015,76	\$ 24.657.015,76	0
	Mayo	0	\$ 24.839.953,37	\$ 24.839.953,37	0
	Junio	0	\$ 24.027.234,35	\$ 24.027.234,35	0
	Julio	0	\$ 27.203.335,65	\$ 27.203.335,65	0
	Agosto	0	\$ 28.264.613,37	\$ 28.264.613,37	0
	Septiembre	0	\$ 36.512.555,65	\$ 36.512.555,65	0
	Octubre	0	\$ 35.807.034,24	\$ 35.807.034,24	0
	Noviembre	0	\$ 24.598.754,35	\$ 24.598.754,35	0
	Diciembre	0	\$ 2.299.276,09	\$ 2.299.276,09	0
Total 2015		0	\$ 730.751.648,06	\$ 730.751.648,06	0
Total general		0	\$ 1.546.666.486	\$ 1.546.666.486	0

Fuente: Los autores

### 3.1.2 Indicadores

- Curva S Avance

A continuación en la Figura 15 presentamos la curva “S” de avance planificado para el proyecto de implementación del sistema de protección catódica del fondo de los tanques.

Figura 15. Curva “S” de avance



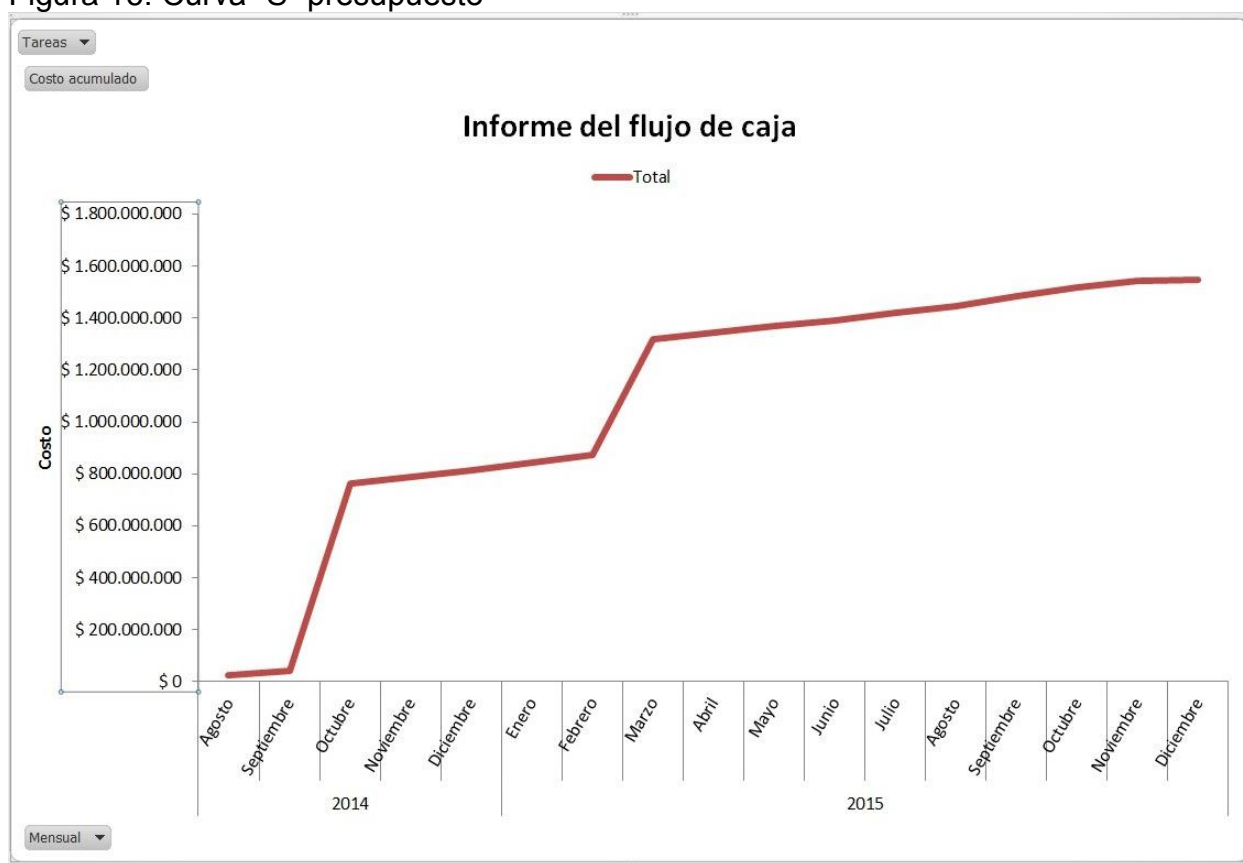
Fuente: Los autores



- Curva “S” presupuesto

A continuación en la Figura 16 presentamos la curva “S” del presupuesto para el proyecto de implementación del sistema de protección catódica del fondo de los tanques.

Figura 16. Curva “S” presupuesto



Fuente: Los autores

3.1.3 Riesgos principales con impacto, probabilidad de ocurrencia y acciones

En la los Tabla 16 se presentan los riegos escogidos para su análisis con su impacto, probabilidad de ocurrencia y acciones

Tabla 16. Riesgos principales

ID Riesgo	Riesgo	Causa	Efecto	Potenciales respuestas	Probabilidad (P)	Impacto (I)	P X I	Plan Contingencia (Plan de Respuesta de Riesgos)
1	El personal no aprueba los exámenes técnicos y de seguridad.	Carencia de personal capacitado o insuficiente capacitación	Retraso en el cronograma de 1 semana y costo por capacitación de 3'300.000	Se le realiza capacitación al personal	30%	40%	12%	Realizar capacitación de una semana
2	Daño del equipo soldador o planta eléctrica	Carencia de mantenimiento o mala manipulación	Retraso de una semana en el cronograma y costo de reparación por 1'000.000	Alquiler de un equipo	50%	20%	10%	Alquilar equipo mientras se dispone de uno propio
3	Inadecuada comunicación en el proyecto	Carencia del plan de comunicación o no se sigue el plan de comunicación	El producto no cumple con las especificaciones del cliente 10'000.000	Verificación del plan de comunicación y sensibilización en el plan de comunicación	30%	40%	12%	Reposición de la expectativa del alcance
4	Retraso de más de una semana en la entrega por parte del cliente de la obra para la construcción del SPC	Retrasos propios del cliente en la construcción y entrega de la obra civil de la base del tanque	Retribución económica correspondiente a los días de retraso en la entrega de la base del tanque	Adicionar personal para adelantar el trabajo atrasado, sumando un valor adicional al contrato por esta labor	10%	40%	4%	Tener personal disponible para trabajar horas extras y poder cumplir con esta labor
5	Cambio en las especificaciones técnicas que no correspondan al alcance	Carencia de claridad en las necesidades por parte del cliente	El alcance debe ser modificado para cumplir con las nuevas especificaciones solicitadas	Modificar el alcance, para cumpla con las nuevas especificaciones a un costo mayor según lo requerido	10%	40%	4%	Disponer del personal para suplir las nuevas solicitudes
6	Retraso de más de una semana en las labores por paros en la refinería por huelga	Huelgas de los trabajadores de la refinería que impiden laborar	Retribución económica correspondiente a los días que dure la huelga y no se pueda laborar	Adicionar personal para adelantar el trabajo atrasado, sumando un valor adicional al contrato por esta labor	10%	40%	4%	Tener personal disponible para trabajar horas extras y poder cumplir con esta labor
7	Retrasos en las actividades por parte del subcontratista por más de dos días	Mala planeación de contratista para cumplir con la actividad	Retraso equivalente al tiempo que el subcontratista se retrase en hacer la actividad	Duplicar el personal para recuperar el tiempo que el Subcontratista perdió por el retraso	50%	20%	10%	Tener disponible otro subcontratista para suplir el incumplimiento del subcontratista anterior
8	Retraso en la entrega de materiales por parte del proveedor por más de 3 días	El proveedor no dispone de los elementos requeridos en el tiempo solicitado	Retraso en el cronograma de acuerdo a la demora en la entrega de los materiales	Buscar otro proveedor que cuente con los materiales solicitados.	60%	20%	12%	Tener varios proveedores que tener los materiales necesarios para el proyecto
9	Retraso por lluvias y tormentas por más de tres días	Condiciones ambientales	Retraso en el cronograma por 3 días y sobre costo por 4'014.900	Duplicar el personal, para adelantar el trabajo los días que no llueva	80%	20%	16%	Trabajar horas extras para aprovechar el tiempo en que no haya lluvias

Fuente: Los autores

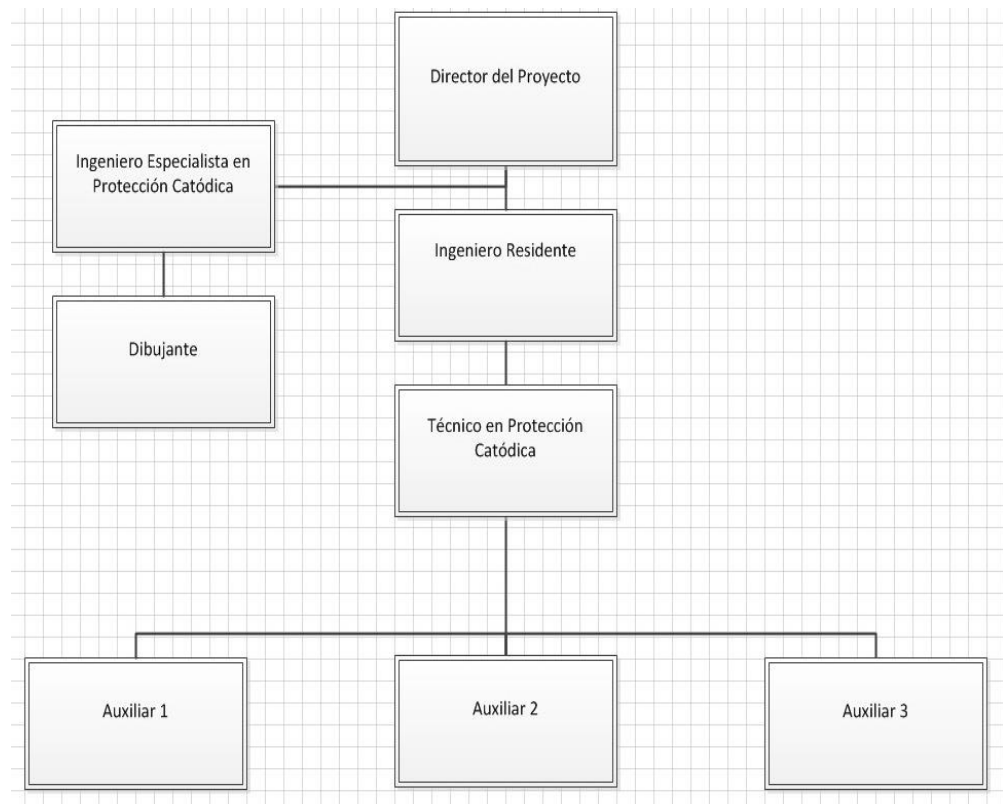
### 3.1.4 Organización

A continuación en la Figura 17 presentaremos el organigrama del proyecto mediante la estructura organizacional “*Organization Breakdown Structure-OBS*” y en la Tabla 17 la matriz de responsabilidad “RACI”

- Estructura Organizacional “*Organization Breakdown Structure*”-OBS-

En la estructura organizacional se puede identificar los diferentes cargos de las personas y su relación jerárquica del trabajo.

Figura 17. Estructura Organizacional “*Organization Breakdown Structure* -OBS-.



Fuente: Los autores



- Matriz de responsabilidad –RACI-

En la Matriz “RACI” se puede ver los roles y responsabilidades de cada uno de los involucrados en el proyecto.

Tabla 17. Matriz de responsabilidad “RACI”

Ítem	Actividades/ Roles	Director del Proyecto	Ing. Especialista en Protección Catódica	Ing. Residente	Técnico Protección Catódica	Dibujante	Auxiliares
1	Medición de la agresividad de la arena bajo el fondo del tanque	C	A	R	I		
2	Identificación de las longitudes del fondo del tanque	C	A	R	I		
3	Identificación de las variables de operación del tanque	C	A	R	I		
4	Ingeniería básica	A	R	I	I	C	
5	Realización de memorias de cálculo	A	R	C	I	I	
6	Especificaciones de construcción	C	R	I	I	I	
7	Planilla de materiales	A	R	C	I	I	
8	Realización de planos	C	A	I	I	R	
9	Suministro de equipos	A	C	R	I		I
10	Suministro de materiales	A	C	R	I		I
11	Construcción mallas anódica	C	I	A	R		I
12	Construcción sistemas de monitoreo de la protección catódica	C	I	A	R		I
13	Instalación de cajas de conexión	C	I	A	R		I
14	Instalación de rectificadores	C	I	A	R		I
15	Encendido del rectificador	A	R	C	I		I
16	Prueba en vacío del rectificador	A	R	C	I		I

17	Aumento del voltaje del rectificador	A	R	C	I		I
18	Polarización del fondo del tanque	A	R	C	I		I
19	Instalación de interruptor	A	R	C	I		I
20	Medición de potenciales ON e instant OFF	A	R	C	I		I
21	verificación de protección	A	R	C	I		I
22	Acta de constitución	R	C	I	I		
23	Plan de gestión del proyecto	R	C	I	I		
24	Dirigir y gestionar la ejecución del trabajo del proyecto	R	C	I	I		
25	Monitorear y controlar el trabajo del proyecto	A	I	R	I		
26	Entrega del dossier	A	C	R	I	I	
27	Lecciones aprendidas	R	A	C	I		
28	Crear EDT	R					
29	Validar alcance	A	C	A	I		
30	Tiempo	A	C	R	I		
31	Costo	R	A	C	I		
32	Calidad	R	A	C	I		
33	Recurso humano	C	A	R	I		
34	Comunicaciones	R	A	C	I		
35	Riesgo	A	C	R	I		
36	Adquisiciones	A	R	C	I		
37	Involucrados	R	A	C	I		

Fuente: Los autores

### 3.2 PLAN DE GESTIÓN DEL PROYECTO, PLANES SUBSIDIARIOS, PLANES DE ÁREAS COMPLEMENTARIAS DEL CONOCIMIENTO Y PLAN DE SOSTENIBILIDAD

A continuación se presenta los planes de gestión, del proyecto, del alcance, tiempo, costos, de calidad, recurso humano, de riesgos y adquisiciones.

### **3.2.1 Plan de gestión del proyecto**

En el plan de gestión del proyecto se describe el fundamento de planificación:

#### **Fundamentos de Planificación**

A continuación se presenta el alcance, los hitos, las fases, las dependencias y supuesto del proyecto:

- **Alcance**

Diseño, suministro de materiales, construcción y puesta en marcha del sistema de protección catódica para 20 tanques de almacenamiento de crudo en la ampliación de la refinería de Barrancabermeja.

- **Hitos**

- Diseño de protección catódica
- Construcción, entrega y puesta en marcha del último tanque.
- Entrega de informe final

A continuación en la Tabla 18 se describen los hitos listados anteriormente.

Tabla 18. Matriz de los hitos del proyecto

Hito	Descripción	Fecha de Entrega
Diseño de protección catódico	Entrega de especificaciones de construcción, planos y planilla de materiales para el sistema de protección catódica	20/10/2014
Construcción, entrega y puesta en marcha del último tanque.	Entrega en funcionamiento y correcta operación del tanque numero 20	13/11/2015
Entrega de informe final	Entrega del dossier de cierre de la instalación del sistema de protección catódica para los 20 tanques	03/12/2015

Fuente: Los autores

- **Fases**

Para el desarrollo del proyecto, se tendrán las siguientes fases:

- Fase de Iniciación
- Fase de Planificación
- Fase de diseño
- Fase de construcción de la malla
- Instalación rectificador

A continuación en la Tabla 19 se describen las fases:

Tabla 19. Fases del proyecto

Fase	Descripción	Secuencia
Fase de Iniciación	Se define el proyecto, se realiza el estudio de viabilidad del caso de negocio	Fase # 1
Fase de planificación	Se realizan todos los planes subsidiarios para el proyecto, se estiman tiempos y costos	Fase #2
Fase de diseño	Se realizan los planos y se determinan las especificaciones de del sistema.	Fase #3
Fase de construcción de la malla	Se realiza la construcción de la malla para los 20 tanques.	Fase #4
Instalación rectificador	Instalación del rectificador y puesta en marcha del sistema de protección catódica para los 20 tanques	Fase #5

Fuente: Los autores

- **Dependencias**

A continuación en la Tabla 20 se listan las principales dependencias para el desarrollo de actividades del proyecto.

Tabla 20. Lista de actividades y la dependencia

Actividad	Depende	Tipo de dependencia
Construcción de malla anódica	Diseño del sistema de protección catódica.	Fin-a-comienzo
Construcción de malla anódica	Entrega por parte de Ecopetrol de las bases de los tanques.	Fin-a-comienzo
Instalación rectificador	Entrega por parte de Ecopetrol de la construcción completa de los tanques.	Fin-a-comienzo
Cierre del proyecto	Puesta en marcha de los 20 tanques.	Fin-a-comienzo

Fuente: Los autores

- **Supuestos**

A continuación listamos los supuestos para el proyecto:

- El alcance del proyecto no se va a modificar
- Los recursos presupuestados estarán disponibles en las fechas señaladas
- Ecopetrol entregará las bases de los tanques y los tanques en las fechas establecidas.

### 3.2.2 Plan de gestión del alcance

#### ***Scope Statement Development***

Debido a la necesidad de alargar la vida útil de los tanques de almacenamiento de crudos contra la corrosión en el fondo; se realizará el proyecto de diseño, suministro de materiales, construcción y puesta en marcha del sistema de protección catódica. Con la implementación del sistema de protección catódica se pretende que los tanques se les extienda la vida a más de 50 años y tenga como beneficio la reducción de los costos en mantenimiento y costos en cambio de partes corroídas. Las restricciones del proyecto incluye:

- Que el proyecto haya finalizado antes del año 2016.
- Que los diseños deben ser aprobados antes de iniciar cualquier instalación.

Las suposiciones del proyecto son que los anillos de concreto de los tanques sean entregados a tiempo por ECOPETROL.

#### ***WBS Structure***

La WBS “*Work Breakdown Structure*” o Estructura de Desglose del Trabajo es la composición jerárquica del trabajo basada en los entregables del trabajo en el proyecto.

#### ***WBS Dictionary***

- Gerencia del proyecto: Es toda la aplicación de las áreas del conocimiento en la realización del proyecto y como responsable se tiene al director del proyecto para lograr culminarlo exitosamente.
- Determinación de las variables para el diseño: Consiste en reunir todas las variables, como las pruebas fisicoquímicas de la arena, las dimensiones y variables operacionales del tanque a proteger y como responsable es el ingeniero especialista en protección catódica.
- Diseño del sistema de protección catódica: Consiste en realizar el diseño del sistema de protección catódica para proteger el fondo de los 20 tanques y el responsable es el ingeniero especialista en protección catódica.
- Siministro de materiales y equipos: consiste en suministrar los materiales y equipos para la construcción de los sistemas de protección catódica, el responsable es el ingeniero residente.
- Construcción del sistema de protección catódica: Una vez se tenga el diseño y los materiales para los sistema de protección catódica, se continua con la construcción; el responsable es el técnico en protección catódica.
- Puesta en marcha del sistema de protección catódica: Consiste en poner en operación el sistema de protección catódica con sus ajustes y balance para lograr proteger el fondo del tanque y como responsable se tiene al ingeniero especialista en protección catódica.

### ***Scope Baseline Maintenance***

Para asegurar la verificación del alcance se propone como mínimo una reunión de contacto entre el director del proyecto, el ingeniero residente y el técnico en protección catódica cada mes. Adicionalmente en etapas críticas del proyecto se propone que se realicen una reunión semanal con el fin de definir las acciones a seguir y tomar decisiones que contribuyan a cumplir con los objetivos planteados para el proyecto.

### ***Scope Change***

Para un cambio del alcance el contratista debe informar al contratista del cambio mediante un correo electrónico, este debe ser respondido con la aprobación de la realización del cambio y con los costos asociados del cambio. El cliente debe aprobar los costos adicionales del cambio y el contratista procederá a realizar el cambio.

### ***Deliverable Acceptance***

Una vez se ponga en marcha los sistemas de protección catódica, se demuestre que cumple su objetivo de proteger el fondo de los 20 tanques y se entreguen los dossier; el cliente debe aceptar los entregables mediante la firma del acta de cierre del proyecto.

### ***Scope and Requirements Integration***

Se debe integrar los requisitos exigidos por ECOPETROL con el alcance del proyecto para evitar inconvenientes en la ejecución de la implementación de los sistemas de protección.

La arena debe cumplir con el requisito de tener bajo contenido de cloruros y cero bacterias sulfatoredutoras para así cumplir con el alcance del diseño del sistema de protección para cumplir con la protección del fondo del tanque.

Se debe cumplir con el requisito de tener el presupuesto para cumplir con el alcance de los costos asociados a la implementación del sistema de protección catódica.



### 3.2.3 Plan de gestión del cronograma

#### ***Schedule Methodology***

Para el desarrollo del plan de gestión realizamos validaciones con juicios de expertos, analogías con proyectos similares ya ejecutados en el pasado y en algunos casos estimaciones paramétricas.

#### **Herramientas**

Para el plan de gestión del tiempo se usará como herramienta un software de gestión de proyectos (MS Project)

<b>Level of Accuracy</b>	<b>Units of Measure</b>	<b>Variance Thresholds</b>
<i>UNIDADES</i>	<i>DIAS</i>	<i>1</i>

#### ***Schedule Reporting and Format***

- \* Semanalmente se envía informe al patrocinador con la información de avance del proyecto.
- \* Semanalmente se recibe el informe con el avance de las obras de construcción de las bases de los tanques y de las estructuras de los tanques.
- \* Una vez al mes se realiza reunión para controlar y coordinar los avances del sistema de protección catódica y la construcción de las estructuras de los tanques.

#### ***Process Management***

<i>Activity identification</i>	Se realiza la estimación mediante un diagrama de desagregación basado en el juicio de expertos.
<i>Activity sequencing</i>	Se realiza la secuenciación teniendo en cuenta la dependencia de cada una de las actividades
<i>Estimating resources</i>	La estimación de los recursos se realiza por juicio de expertos
<i>Estimating effort and duration</i>	Se realiza la estimación por analogía
<i>Updating, monitoring, and controlling</i>	La actualización, seguimiento y control se realiza por medio de software de gestión del proyecto (Ms Project)

### 3.2.4 Plan de gestión de costos

<b><i>Level of Accuracy:</i></b>	<b><i>Units of Measure:</i></b>	<b><i>Control Thresholds:</i></b>
Centavos	Pesos Colombianos	+/- 5 % para cada fase del proyecto
<b><i>Rules for Performance Measurement:</i></b>		
El gerente del proyecto puede autorizar costos adicionales por un valor total que no supere el 5% del costo del proyecto.		

#### ***Cost Reporting and Format:***

El formato de los reportes de los costos se realizaran basados en la técnica de valor ganado
----------------------------------------------------------------------------------------------

#### ***Process Management:***

<b><i>Estimating costs</i></b>	Juicio de Expertos. Estimación Análoga.
<b><i>Developing the budget</i></b>	Agregación de Costos. Juicio de Expertos.
<b><i>Updating, monitoring and controlling</i></b>	Para el control de los costos usaremos una herramienta de gestión de proyectos (MS Project) y tomaremos como cuenta de control el 3 nivel de desagregación, según la EDT del proyecto

### 3.2.5 Plan de gestión de calidad

#### *Quality Roles and Responsibilities*

<i><b>Role</b></i>	<i><b>Responsibilities</b></i>
<b>*Director del Proyecto</b>	<p>*</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Aprobar el Plan de Gestión de Calidad.</li><li>-Aprobar las Actualizaciones de los Documentos del Proyecto.</li><li>-Aprobar el Plan de Mejoras del proceso.</li><li>- Aprobar las Solicitudes de Cambio.</li><li>- Aprobar las Actualizaciones del Plan para la Dirección del proyecto</li></ul>
<b>** Ingeniero Especialista en Protección Catódica</b>	<p>**</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Aprobar las métricas de Calidad.</li><li>- Aprobar las Listas de Verificación de Calidad.</li></ul>

<p><b>***Ingeniero Residente.</b></p>	<p><b>***</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaborar el Plan de Gestión de Calidad.</li> <li>- Elaborar el Plan de Mejoras del proceso</li> <li>- Elaborar las Métricas de Calidad</li> <li>- Elaborar las Listas de Verificación de Calidad</li> <li>- Elaborar las Actualizaciones de los Documentos del Proyecto</li> <li>- Tramitar las Solicitudes de Cambio</li> <li>- Elaborar las Actualizaciones del Plan para la Dirección del proyecto</li> <li>- Tomar y almacenar las mediciones de calidad.</li> </ul>
---------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### ***Quality Planning Approach***

Norma ISO 9001: 2008 y normas de seguridad industrial de ECOPETROL dentro de la refinería de Barrancabermeja.

### 3.2.6 Plan de gestión de la comunicación

Aquí se presenta la lista de involucrados en la comunicación dentro del proyecto. Ver Tabla 21.

Tabla 21. Lista de involucrados en la comunicación

Stakeholder	Information	Method	Timing or Frequency	Sender
Patrocinador	Avance del proyecto	E Mail	semanal	Director del proyecto
Patrocinador	Avance del proyecto	Reunion	Mensual	Director Del Proyecto
Director Del Proyecto	Avance construccion bases Tanques	E Mail	Semanal	Responsable proyecto Ecopetrol
Director Del proyecto	Entrega Bases Tanques	Acta	Por Evento	Responsable proyecto Ecopetrol
Responsable Ecopetrol	Entrega De sistema Por tanque	Acta y Dossier	Por Evento	Director del proyecto

Fuente: Los autores

### 3.2.7 Plan de gestión del riesgo

#### ***Methodology***

El riesgo son las vulnerabilidades y amenazas que pueden afectar el desarrollo del proyecto y que afectan el cumplimiento del presupuesto, cronograma y/o alcance.

Para la gestión de los riesgos se realiza la identificación de los riesgos, el análisis cuantitativo – cualitativo y la planificación para la respuesta a los riesgos.

Durante la identificación de los riesgos utilizaremos la técnica de análisis de listas de control, teniendo en cuenta la información histórica de la organización.

Durante las etapas de inicio y planificación se realizara la identificación de los riesgos y se determinara la probabilidad, el impacto para realizar el plan de respuesta al riesgo.

#### ***Roles and Responsibilities***

Técnico en protección catódica

- Registro de Riesgos.

Ingeniero Residente

- Realizar Plan de Gestión de Riesgos
- Realizar Plan de Respuesta a Riesgos
- Realizar Análisis Cualitativo de Riesgos
- Realizar Análisis Cuantitativo de Riesgos
- Realizar las Actualizaciones de los Documentos del Proyecto
- Realizar Solicitudes de Cambio

#### Director del Proyecto

- Aprobar Plan de Gestión de Riesgos
- Aprobar Plan de Respuesta a Riesgos
- Aprobar Análisis Cualitativo de Riesgos
- Aprobar Análisis Cuantitativo de Riesgos
- Aprobar las Actualizaciones de los Documentos del Proyecto
- Aprobar Solicitudes de Cambio

Matriz del análisis cualitativo y cuantitativo

En la Tabla 22 se presentan los riesgos identificados, con los planes de contingencia y los responsables para cada riesgo.

Tabla 22. Matriz de registro de riesgos

ID Riesgo	Amenaza	Oportunidad	Objetivo Afectado	Riesgo	Causa	Efecto	Potencial propietario del riesgo	Potenciales respuestas
1	X		Alcance, tiempo y costo	El personal no aprueba los exámenes técnicos y de seguridad	Carencia de personal capacitado o insuficiente capacitación	Retraso en el cronograma de 1 semana y costo por capacitación de 3300000	Director del proyecto	Se le realiza capacitación al personal
2	X		Tiempo y costo	Daño del equipo soldador o planta eléctrica	Carencia de mantenimiento o mala manipulación	Retraso de una semana en el cronograma y costo de reparación por 1'000.000	Técnico de protección catódica	Alquiler de un equipo
3	X		Alcance	Inadecuada comunicación en el proyecto	Carencia del plan de comunicación o no se sigue el plan de comunicación	El producto no cumple con las especificaciones del cliente 10'000.000	Ingeniero residente	Verificación del plan de comunicación y sociabilización del plan de comunicación
4		X	Tiempo y costo	Retraso de más de una semana en la entrega por parte del cliente de la obra para la construcción del SPC	Retrasos propios del cliente en la construcción y entrega de la obra civil de la base del tanque	Retribución económica correspondiente a los días de retraso en la entrega de la base del tanque	Ingeniero residente	Adicionar personal para adelantar el trabajo atrasado, sumando un valor adicional al contrato por esta labor
5		X	Alcance, tiempo y costo	Cambio en las especificaciones técnicas que no correspondan al alcance	Carencia de claridad en las necesidades por parte del cliente	El alcance debe ser modificado para cumplir con las nuevas especificaciones solicitadas	Ingeniero residente	Modificar el alcance, para cumpla con las nuevas especificaciones a un Costo mayor según lo requerido
6		X	Tiempo y costo	Retraso de más de una semana en las labores por Paro en la refinería por huelga	Huelgas de los trabajadores de la refinería que impiden trabajar	Retribución económica correspondiente a los días que dure la huelga y no se pueda trabajar	Director del proyecto	Adicionar personal para adelantar el trabajo atrasado, sumando un valor adicional al contrato por esta labor
7	X		Tiempo	Retrasos en las actividades por parte del subcontratista por más de dos días	Mala planeación del contratista para cumplir con la actividad	Retraso equivalente al tiempo que el subcontratista se retrase en hacer la actividad	Ingeniero residente	Duplicar el personal para recuperar el tiempo que el Subcontratista perdió por el retraso
8	X		Tiempo	Retraso en la entrega de materiales por parte del proveedor por más de 3 días	El proveedor no dispone de los elementos requeridos en el tiempo solicitado	Retraso en el cronograma de acuerdo a la demora en la entrega de los materiales	Ingeniero residente	Buscar otro proveedor que cuente con los materiales solicitados.
9	X		Tiempo y costo	Retraso por lluvias y tormentas por más de tres días	Condiciones ambientales	Retraso en el cronograma por 3 días y sobre costo por 4014900	Ingeniero residente	Duplicar el personal, para adelantar el trabajo los días que no llueve

Fuente: Los autores



### **3.2.8 Plan de gestión de la adquisiciones**

<b>NOMBRE DEL PROYECTO</b>
Implementación del Sistema de Protección Catódica para el Fondo de los Tanques en la Ampliación de la Refinería de Barrancabermeja
<b>ADQUISICIONES DEL PROYECTO</b>
Ver matriz de adquisiciones en la Tabla 23
<b>PROCEDIMIENTO A SEGUIR</b>
<p>Para los contratos de adquisición de equipos rectificadores para el sistema de protección catódica, se debe realizar el siguiente proceso:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se revisa la lista de posibles proveedores de los equipos.</li> <li>-Se verifican las especificaciones de los equipos según el diseño aprobado por el cliente.</li> <li>- Se solicita cotización de los equipos en las cantidades necesarias.</li> <li>-Se revisa las cotizaciones.</li> <li>-Se selecciona el proveedor que mejor se ajusta a los requerimientos exigidos.</li> <li>- Se verifica la disponibilidad de los equipos para la fecha y lugar solicitado.</li> <li>- Se coordina la entrega de los equipos.</li> <li>- El director del proyecto firma el contrato</li> </ul>
<p>Para la adquisición de las cajas de conexiones, se tiene el proveedor seleccionado:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Se solicita la cotización de las cajas de conexiones.</li> <li>-Se verifican las especificaciones de las cajas de conexiones y las cantidades.</li> <li>- Se verifica la disponibilidad de los materiales para la fecha y lugar solicitado.</li> <li>- Se coordina la entrega de los materiales.</li> <li>- Se realiza el pago anticipado del 50% de las cajas de conexiones.</li> </ul>

Para los contratos de adquisición de materiales para construcción de la malla del sistema de protección catódica, se realiza el siguiente el procedimiento:

- Se revisa la lista de posibles proveedores de materiales.
- Se verifican las especificaciones de los materiales.
- Se solicita cotización de los materiales en las cantidades necesarias.
- Se revisa las cotizaciones.
- Se selecciona el proveedor que mejor se ajusta a los requerimientos exigidos.
- Se verifica la disponibilidad de los materiales para la fecha y lugar solicitado.
- Se coordina la entrega de los materiales
- El director del proyecto firma el contrato

Para los contratos de servicio para la construcción de la base de concreto para la caja de conexiones y base del rectificador

- Se revisa la lista de posibles contratistas
- Se verifican las especificaciones técnicas de los servicios necesarios.
- Se verifica que el contratista cumpla con los requisitos mínimos para laborar dentro de la refinería.
- Se solicita cotización de las actividades necesarias
- Se revisa las cotizaciones.
- Se selecciona el contratista que mejor se ajusta a los requerimientos exigidos.
- Se verifica la disponibilidad del contratista para realizar las labores según el cronograma
- Se coordinan las labores programadas y su forma de ejecución.
- El director del proyecto firma el contrato

Para los contratos de servicio para las pruebas físico-químico de la arena se debe validar lo siguiente

- Se revisa la lista de posibles laboratorios de análisis físico-químico.
- Se verifican las especificaciones técnicas de los servicios necesarios.
- Se verifica que el contratista cumpla con los requisitos mínimos para laborar dentro de la refinería.
- Se solicita cotización de las actividades necesarias.
- Se verifica la disponibilidad del laboratorio para realizar las labores según el cronograma

- Se coordinan la fecha de entrega de los resultados.
<b>FORMATOS ESTÁNDAR A UTILIZAR:</b> Formatos de adquisición que se deben seguir.
No se cuenta con ningún formato para la adquisición de los equipos rectificadores, materiales para la construcción de la malla, los misceláneos, las cajas de conexión y las pruebas de análisis físico-químicos.
<b>FECHA DE INICIO GESTION DE CONTRATO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para el contrato de servicio de laboratorio se debe empezar a gestionar en el inicio de la etapa de ejecución del proyecto.</li> <li>- Para el contrato de compra de los rectificadores se deben realizar por lo menos 15 días antes de la fecha de terminación del primer tanque.</li> <li>- Para el contrato de compra de materiales, se debe empezar a gestionar desde el inicio de la etapa de ejecución del proyecto.</li> <li>- El contrato para la construcción de la base para la caja de conexiones y para el rectificador, se debe gestionar una vez se termine la instalación del sistema de protección catódico en el primer tanque.</li> </ul>
<b>SUPUESTOS Y RESTRICCIONES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se asume que Ecopetrol hará la entrega de la base de los tanques a tiempo según lo programado, cualquier demora superior a una semana implicar renegociación del contrato de construcción de las bases de la caja de conexiones y el rectificador.</li> <li>- Se asume que no se realizaran cambios en los requisitos de la caja de conexiones, si Ecopetrol solicita algún cambio en las características de estas cajas, implicara renegociar el contrato con el contratista para la construcción de la base de las cajas de conexiones.</li> </ul>
<b>RIESGOS RESPUESTA AL RIESGO:</b> Ver matriz de adquisiciones

<p>-Sobre demanda del proveedor en la entrega de los equipos rectificadores:</p> <p>Tener varios proveedores que puedan proveer los equipos rectificadores a tiempo para el proyecto.</p> <p>-El proveedor no cumple con los requerimientos de calidad de los equipos.</p> <p>Exigirle los estándares de calidad al inicio de la compra de los equipos rectificadores.</p>
<p>- Sobre demanda de proveedor en la entrega de las cajas de conexión y materiales.</p> <p>Tener varios proveedores que puedan proveer los equipos rectificadores a tiempo para el proyecto.</p> <p>- El proveedor no cumple con los requerimientos de calidad de los materiales.</p> <p>Exigirle los estándares de calidad al inicio de la compra de los equipos rectificadores.</p>
<p>-El Contratista no cuenta con la cantidad del personal para cumplir con las actividades según el cronograma de la construcción de las bases en concreto para las cajas de conexión y rectificadores.</p> <p>Duplicar el personal para recuperar el tiempo que el Subcontratista se ha retrasado.</p> <p>-El contratista no cuenta con el personal capacitado para la correcta ejecución de las labores.</p> <p>Exigir los certificados de experiencia y capacitación de los trabajadores que realizaran las labores de construcción de las bases de concreto.</p>
<p>-El laboratorio tiene sobre de manda de trabajo y no entrega a tiempo los</p>

resultados

Tener varios proveedores o laboratorios que puedan realizar el análisis físico-químicos.

### **METRICAS**

- Para los contratos de adquisición de equipos y materiales se tomara como métricas el cumplimiento en la entrega de los equipos y materiales según lo contratado y que los elementos entregados cumplan con los requisitos solicitados.

- Para los contratos de servicios de laboratorio y de construcción de las bases de concreto se tendrá en cuenta el nivel de cumplimiento con las especificaciones del diseño.

Tabla 23. Matriz de contratación

<b>Nombre del Proyecto:</b> Implementación del Sistema de Protección Catódica para el Fondo de los Tanques en la Ampliación de la Refinería de Barrancabermeja							<b>Director del Proyecto</b>  Jaime Martínez	<b>Fecha última actualización</b>  30-Junio del 2014	<b>Versión</b>  2
Contrato	Nombre Adquisición	Cantidad	# EDT	Tipo (F, R, T-M)	Monto \$	Duración Días	Responsable	Riesgos	
FP-10591	Suministro de rectificadores para sistemas de protección catódica	20	3.1	F	100000 000	90	Director del proyecto	-Sobre demanda del proveedor -El proveedor no cumple con requerimientos de calidad de equipos.	
FP-10592	Suministro de materiales para construcción de malla anódica y cajas de conexión	VARIOS	3.2	F	300000 00	30	Director del proyecto	-Sobre demanda de proveedor - El proveedor no cumple con requerimientos de calidad de materiales.	

FP-89875	Servicio de construcción de soporte de concreto para rectificador y caja de conexiones	40	4.3 Y 4.4	F	250000 00	60	Ingeniero Residente	-El Contratista no cuenta con la cantidad del personal para cumplir con las actividades según el cronograma.  -El contratista no cuenta con el personal capacitado para la correcta ejecución de las labores.	
FO-65432	Servicio de pruebas de laboratorios como análisis físico químicos, bacterias sulfato-reductoras y resistividad de la arena.	20	1.1	F	300000	30	Ingeniero Residente	-El laboratorio tiene sobre de manda de trabajo y no entrega a tiempo los resultados	
<b>Notas:</b>  Tipo de contrato: Precio Fijo; Reembolso de costos; Por Tiempo y Materiales (T-M)									



## BIBLIOGRAFÍA

- Buenas tareas. (2013). *Otros ejemplos de matrices stakeholders*. Recuperado de:  
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Matrices-Stakeholders/25123295.html>
- Cantor, J. y Pinzón, N. (1995). *Programa para el diseño de sistemas de protección catódica con ánodos de sacrificio*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Bogotá.
- Castaño, C. (2007). *Normas técnicas para la presentación de trabajos escritos*. Recuperado de <http://es.scribd.com/doc/7083736/Trabajo-Escrito-Normas-Para-La-Presentacion-de-Trabajos-Escritos>
- Davivienda. (2014). *Simulador de crédito*. Recuperado de:  
<https://linea.davivienda.com/Simuladores/CdtsAction.do;jsessionid=a03748cf570ffb781b8378643ec7>
- ECOPETROL. (2012). *Complejo Barranca*. Recuperado de  
<http://serviciocliente.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=46&conID=37668&pagID=134631>
- Gutiérrez. J. (2012). *Plan de inversiones ECOPETROL 2012-2020*. Recuperado de  
<http://infraestructura.org.co/presentaciones/presentaciones%20Ecopetrol/JAVIER%20GENARO%20GUTIERREZ%20-%20Presidente%20Ecopetrol.pdf>

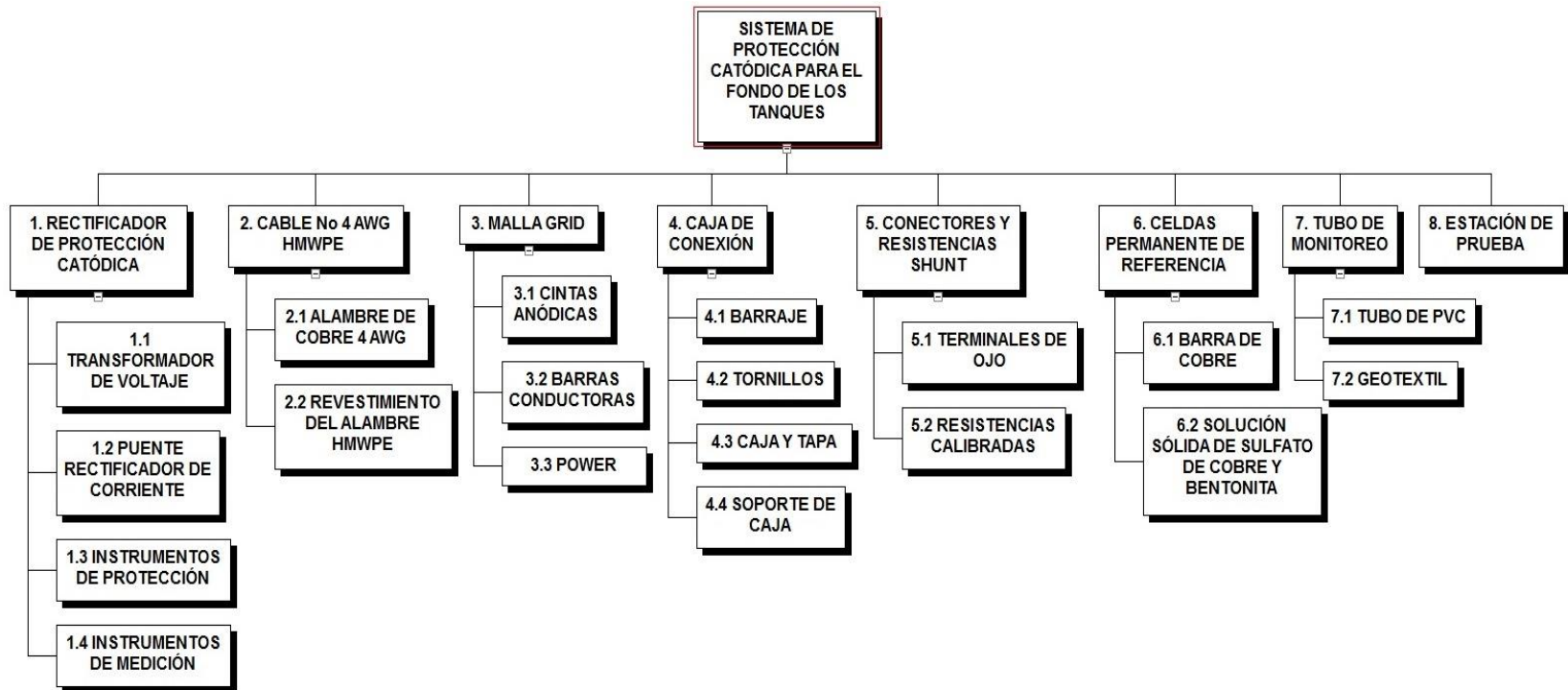
- Holtsbaum W. (2009). *Cathodic Protection Survey Procedures*. Houston, Texas: National Association of Corrosion Engineers International.
  
- Infraestructura. (2013). *Modernización de la refinería de Barrancabermeja*. Recuperado de <http://www.santandercompetitivo.org/proyectos-11-m/50-modernizacion-de-la-refineria-de-barrancabermeja-.htm>
  
- Innova. (2011). *Corrosión: primer consumidor de acero en el mundo*. Recuperado <http://www.ecopetrol.com.co/especiales/RevistaInnova7ed/entrevista.htm>
  
- La república. (2013). *5000 Empleos generara la refinería de Barrancabermeja*. Recuperado de: [http://www.larepublica.co/asuntos-mineros/m%C3%A1s-de-5000-empleos-generar%C3%A1-la-refiner%C3%ADa-de-barrancabermeja\\_82916](http://www.larepublica.co/asuntos-mineros/m%C3%A1s-de-5000-empleos-generar%C3%A1-la-refiner%C3%ADa-de-barrancabermeja_82916)
  
- Longarini, C. (2011). *La Matriz RACI, una herramienta para organizar tareas en la empresa*. Recuperado de <http://materiabiz.com/la-matriz-raci-una-herramienta-para-organizar-tareas-en-la-empresa/>
  
- Mulcahy R. (2011). *Preparación para el examen PMP*. (Séptima Edición). Estados Unidos: Autor.

- National Association of Corrosion Engineers International. (2001). *External Cathodic Protection of On-Grade Carbon Steel Storage Tank Bottoms*. Houston, Texas: Autor.
- National Association of Corrosion Engineers International. (2010). *Manual del curso Cathodic Protection Technician CP2*. Houston, Texas: Autor.
- National Association of Corrosion Engineers International. (2009). *Manual del curso Cathodic Protection Technologist P3*. Houston, Texas: Autor.
- National Association of Corrosion Engineers International. (2000). *Manual del curso Cathodic Protection Tester CP1*. Houston, Texas: Autor.
- National Association of Corrosion Engineers International. (2010). *Manual del curso Cathodic Protection Specialist CP4*. Houston, Texas: Autor.
- Orozco R., Martínez E., Galván R., Ramírez J. y Fernández I. (2007). *Revista de divulgación científica y tecnológica de la universidad de Veracruz*, 20(2), <http://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol20num2/articulos/corrosion/>
- Peabody, A. (2001). *Control of Pipeline Corrosion*. (Second edition). Houston, Texas: NACE International.

- Project Management Institute PMI. (2008). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos - Guía del PMBOK®*. (Cuarta Edición). Newtown Square, Pennsylvania: Autor.
  
- Portafolio. (2013). *Avanza modernización de la refinería de Barrancabermeja*. Recuperado de <http://www.portafolio.co/negocios/modernizacion-la-refineria-barrancabermeja>
  
- Santander Comprometido. (2012). *Modernización de la refinería de Barrancabermeja*. Recuperado de <http://www.santandercompetitivo.org/proyectos-11-m/50-modernizacion-de-la-refineria-de-barrancabermeja-.htm>
  
- SELEC. (2014). *Protección catódica para tanques*. Recuperado de <http://www.catodicatanques.com.ar/impres.html>
  
- Vanguardia. (2014). *Ecopetrol invertirá cerca de US\$339 millones en la refinería de Barrancabermeja*. Recuperado de: <http://www.vanguardia.com/santander/barrancabermeja/240985-ecopetrol-invertira-cerca-de-us339-millones-en-la-refineria-de-barr>
  
- Velasco. É (Julio, 2013). *Notas y diapositivas del módulo de gerencia de proyectos*. Universidad Piloto de Colombia. Bogotá: Autor.

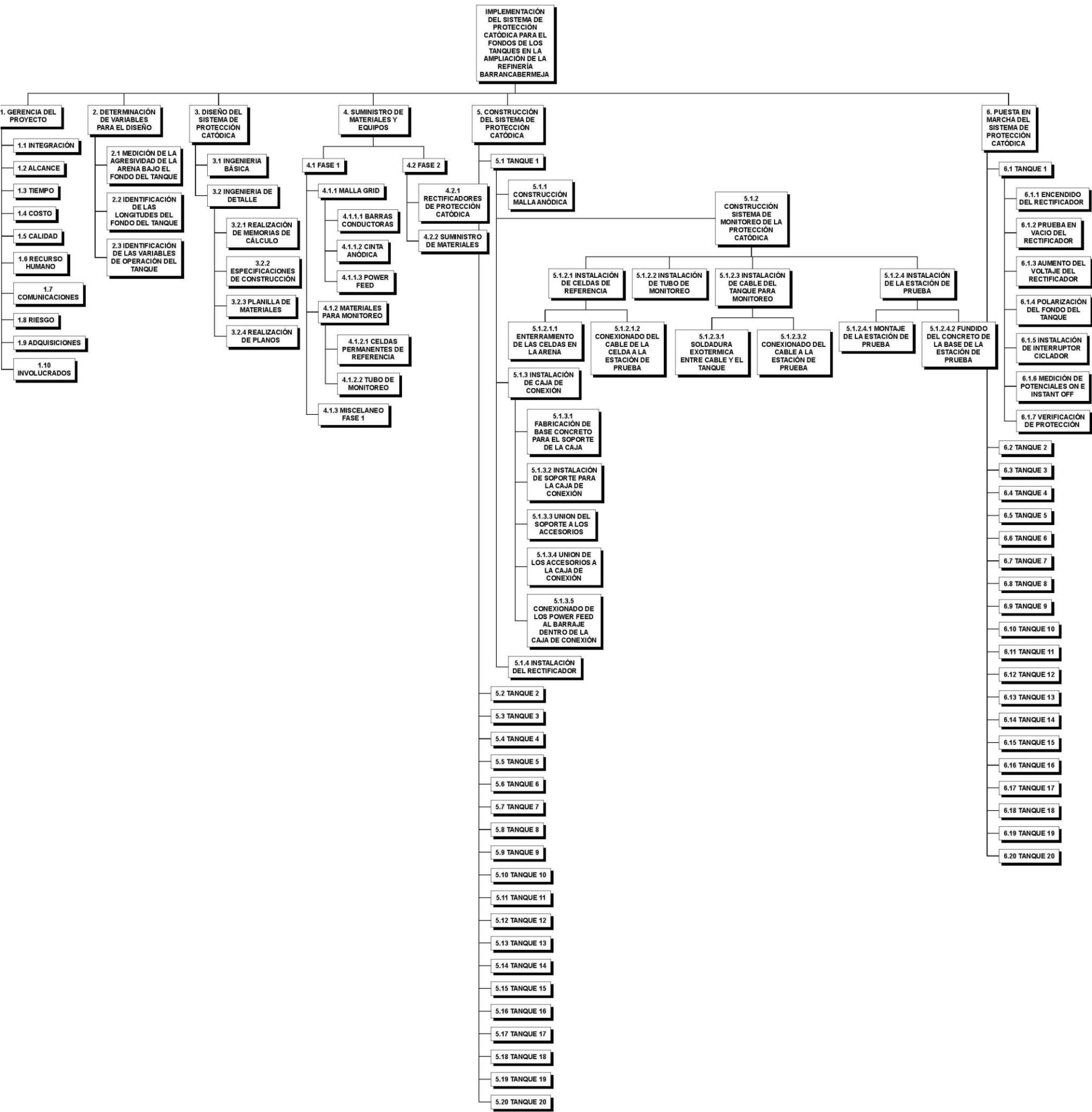
## **ANEXOS**

## ANEXO A. EDP (Estructura de Descomposición del Producto)



Fuente: Los Autores

ANEXO B. EDT DEL PROYECTO: DESGLOSE PRINCIPAL



Fuente: Los Autores

## ANEXO C. PROJECT CHARTER

**Project Title:** Implementación del sistema de protección catódica para el fondo de los tanques en la ampliación de la refinería de Barrancabermeja.

**Project Sponsor:** Los Accionistas

**Date Prepared:** 04-Agosto-2014

**Project Manager:** Jaime Martínez

**Project Customer:** ECOPETROL

Project Purpose or Justificación
Proteger el exterior del fondo de los tanques de crudo construidos en la ampliación de la refinería de Barrancabermeja de la corrosión producida por la interacción con la arena.
Project Descripción
Implementar un sistema de protección catódica para los 20 tanques de almacenamiento construidos en la ampliación de la refinería de Barrancabermeja, cumpliendo con todas las especificaciones técnicas, contractuales y de políticas HSE ( <i>Health Safety Enviroment</i> ).
Project and Product Requirements
Requerimientos del producto: Entregar los sistemas de protección catódica para los 20 tanques con los siguientes componentes de cada uno: Una (1) prueba fisicoquímica de la arena Un (1) diseño del sistema de protección catódica Un (1) rectificador trifásico de corriente Una (1) malla anódica Una (1) caja de conexión Una (1) estación de prueba Un (1) tubo de monitoreo Construcción del sistema de protección catódica Puesta en marcha del sistema de protección catódica  Requerimientos del proyecto: Proteger el fondo exterior de los tanques contra la corrosión en un 100%.
Acceptance Criteria
Cumplir en un 100% el criterio de protección de la norma NACE que habla de potenciales de polarizados de -850 mili-voltios o más electronegativos.
Initial Risks
-Lluvias que retrasen la entrega de las bases de concreto, donde se instala el sistema de protección. -Las lluvias también pueden retrasar la instalación del sistema de protección. -Que no drene la corriente necesaria para proteger la estructura -Que no cumpla el criterio de la norma NACE SP 0169-2013 que habla de un potencial polarizado de -850 mili voltios.

Fuente: Los Autores



## PROJECT CHARTER

Project Objectives	Success Criteria	Person Approving
<b>Scope</b>		
Diseño, suministro de materiales, construcción y puesta en marcha del sistema de protección catódica para 20 tanques de almacenamiento de crudo en la ampliación de la refinería de Barrancabermeja	-Instalación y funcionamiento en un 100% del sistema de protección catódica. -Cumplimiento del segundo criterio de la norma NACE SP 0169-2007.	Ingeniero interventor con amplio conocimiento en protección catódica de Ecopetrol
<b>Time</b>		
389 días hábiles	mas 10% y menos 5% del cronograma	Ingeniero interventor con amplio conocimiento en protección catódica de Ecopetrol
<b>Cost</b>		
\$ 1.571.100.000	mas 5% y meno 5% del costo	Gerente de Facturación de Ecopetrol
<b>Quality</b>		
La norma NACE para construcción de sistema de protección catódica para fondos exteriores de tanques	El sistema de protección catódica drene la corriente requerida por la estructura y que los potenciales cumplan el mínimos de - 850 mili-Voltios	Ingeniero interventor con amplio conocimiento en protección catódica de Ecopetrol
<b>Other</b>		
Seguir el plan de HSE del proyecto	Cero accidente	Director del proyecto
<b>Summary Milestones</b>		<b>Due date</b>
Diseño de protección catódico		12/08/2014
Construcción, entrega y puesta en marcha del primer tanque piloto		17/09/2014
Construcción, entrega y puesta en marcha del último tanque.		17/11//2015
Entrega de informe final		01/12/2015

Fuente: Los Autores

<b>Estimated Budget:</b>
El presupuesto estimado es de \$ 1.571.100.000
<b>Project Manager Authority Level</b>
<b>Staffing Decisions:</b>
Las decisiones del personal estarán a cargo del director de proyectos, pero cada una de las actividades debe ser ejecutada por el personal que cumpla con las capacidades técnicas correspondiente.
<b>Budget Management and Variance:</b>
Cualquier varianza que supere los montos previstos debe ser reportada inmediatamente: -Aumento del precio de los materiales y equipos. -Mayor tiempo en la entrega de la base de los tanques por parte de Ecopetrol.
<b>Technical Decisions:</b>
Las decisiones técnicas estarán a cargo del ingeniero residente, de ser necesario podrá solicitar el apoyo del ingeniero especialista en protección catódica.
<b>Conflict Resolution:</b>
Cualquier conflicto deberá ser consultado con el Director de proyectos para la toma de una decisión final.
<b>Escalation Path for Authority Limitations:</b>
El Director del proyecto y el Sponsor deben autorizar los cambios en las especificaciones del contrato.

Fuente: Los autores

### Approvals:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Project Manager Signature  
Signature

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Project Manager Name  
Name

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Sponsor or Originator

Sponsor or Originator

## ANEXO D. PROJECT SCOPE STATEMENT

**Project Title:** Implementación del sistema de protección catódica para el fondo de los tanques en la ampliación de la refinería de Barrancabermeja.

**Date Prepared:** 04-Agosto-2014

<b>Product Scope Description</b>
Sistema de protección catódica para el fondo de los tanques constituido por una malla que le proporciona corriente a la estructura del fondo para proteger contra la corrosión exterior.
<b>Project Deliverables</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>-Agresividad de la arena bajo el fondo del tanque.</li><li>-Diseño del sistema de protección catódica.</li><li>-Suministro de materiales y equipos.</li><li>-Sistema de protección catódica</li><li>-Entrega de los dossiers para los 20 tanques.</li></ul>
<b>Project Acceptance Criteria:</b>
Instalación y funcionamiento en un 100% del sistema de protección catódica para cada tanque.
<b>Project Exclusions:</b>
Mantenimiento e inspecciones periódicas del sistema de protección catódica.
<b>Project Constraints:</b>
El presupuesto máximo del proyecto de \$ 1.571.100.000 no debe ser superado.
<b>Project Assumptions:</b>
Que no se realicen modificaciones en los tiempos una vez que el cronograma ha sido aprobado.

Fuente: Los Autores

## ANEXO E. REQUIREMENTS DOCUMENTATION

**Project Title:** Implementación del sistema de protección catódica para el fondo de los tanques en la ampliación de la refinería de Barrancabermeja.

**Date Prepared:** 04-Agosto-2014

ID	Requirement	Stakeholder	Category	Priority	Acceptance Criteria	Validation Method
1	Se entregue los diseños del sistema de protección catódica	Interventor de la obra	Funcional	Se entregue a tiempo los diseños para aprobación	Que cumpla con las especificaciones técnicas	Revisión de los cálculos del diseño
2	Suministro de los materiales y equipos	Interventor de la obra	Funcional	Se entregue a tiempo los materiales y equipos	Que cumpla con las especificaciones del diseño	Revisión de las especificaciones de materiales y equipos
3	Se construya la malla del sistema de protección catódica	ECOPETROL	Funcional	Se implemente para poder construir el tanque	Que haya continuidad eléctrica en la malla	Medición directa de la continuidad eléctrica
4	Se complete la construcción del sistema de protección catódica	ECOPETROL	Funcional	Se implemente una vez finalice la construcción del tanque	Construcción en el 100% del sistema de protección catódica	Verificación norma NACE TM-0497-2002
5	Funcionamiento del sistema de protección catódica	ECOPETROL	Funcional	Se ponga en funcionamiento una vez se construya el sistema	Protección en 100% contra la corrosión externa	Verificación norma NACE 0169-2007
6	Se entregue el dossier del proyecto	ECOPETROL	Documentos	Se entregue una vez finalice la puesta en marcha del sistema	Que cuente con todos los documentos de construcción	Revisión del documento

Fuente: Los Autores